

Braunschweigische  
Wissenschaftliche Gesellschaft

# Jahrbuch 2016



**J. CRAMER Verlag · Braunschweig**  
**2017**

Das vorliegende Jahrbuch ist bei der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft  
und im Buchhandel erhältlich

Preis: € 20,00

Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft  
Fallersleber-Tor-Wall 16 · D-38100 Braunschweig  
Postfach 3329 · D-38023 Braunschweig  
Telefon: (05 31) 1 44 66 · Fax (05 31) 1 44 60

<http://www.bwg-nds.de>

Für die Redaktion verantwortlich:  
Christel Müller-Goymann & Dietmar Brandes

ISSN 0931-1734

ISBN 978-3-934656-36-9

Gesamtherstellung:

J. Cramer Verlag · Haarsweg 1 · D-38126 Braunschweig  
2017

Printed in Germany



## INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort.....	9
Organe der BWG 1943–2016.....	11

### PLENARVERSAMMLUNGEN

09.01.2016	in Braunschweig	
	<i>Otto Luchterhandt</i> : Armenien – Überlebenskampf am Ararat	13
	Klaus Gahl: Schlussworte.....	45
12.02.2016	in Braunschweig	
	<i>Reinhard Werner</i> : Bibliometrie und die Zukunft des wissenschaftlichen Publizierens.....	47
11.03.2016	in Braunschweig	
	<i>Ulrich Reimers</i> : Kooperationsmodelle zwischen drahtlosen Breitband- (Broadband-) und Rundfunk- (Broadcast-)netzen – Ideen für die Kanalisierung der Datenflut.....	71
	<i>F. Jochen Litterst</i> : Paradigmenwechsel in der Physik.....	77
08.04.2016	in Braunschweig	
	<i>Walther Ludwig</i> : Schulpreise und die Nürnberg-Altendorfer und Hamburger Praemien-Medaillen.....	81
10.06.2016	in Braunschweig	
	<i>Antje Schwalb</i> : Migration des Menschen aus geowissenschaftlicher Perspektive.....	83
09.07.2016	in Clausthal	
	<i>Gunther Kühne</i> : Die Bewältigung des Atomausstiegs – Rechtliches und Politisches.....	86
	<i>Klaus-Jürgen Röhl</i> ig: Endlagerforschung: Technische Herausforderungen vor dem Hintergrund gesellschaftlicher Konflikte	100
13.08.2016	in Braunschweig	
	Harmen H. Thies: Die Zisterzienser-Klosterkirche Riddagshausen – Zu Einzelheiten des Aufbaus.....	115

14.10.2016	in Braunschweig Gemeinsame Stützung mit der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen <i>Gerhard Lauer</i> : Naturgeschichte online. Zum Konzept einer digitalen Edition der Werke Johann Friedrich Blumenbachs <i>Joachim Reitner</i> : Blumenbachs Sammlungsobjekte – Fortschritte in der Erforschung und Digitalisierung.....	138
11.11.2016	in Hannover <i>Karl-Heinz Rosenwinkel &amp; Regina Nogueira</i> : Viren und Legionellen im Wasserkreislauf.....	143
16.12.2016	in Braunschweig Haupt- und Wahlsitzung	

## KLASSENSITZUNGEN

### Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften

12.02.2016	in Braunschweig <i>Thomas Sonar</i> : Der Prioritätsstreit zwischen Leibniz und Newton.....	157
11.03.2016	in Braunschweig <i>Regularien</i>	
08.04.2016	in Braunschweig <i>Müfit Bahadır</i> : Behandlung und Wiedernutzung kommunaler Abwässer – Das Braunschweiger Modell.....	183
10.06.2016	in Braunschweig <i>Otto Richter</i> : Genetik metabolischer Resistenz.....	199
14.10.2016	in Braunschweig <i>Regularien</i>	
11.11.2016	in Hannover <i>Regularien</i>	

### Klasse für Ingenieurwissenschaften

12.02.2016	in Braunschweig <i>Meinhard Schilling</i> : Magnetic nanoparticles as markers for biomedical analysis.....	201
------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

08.04.2016	in Braunschweig <i>Andreas Rausch: Dependable Advanced Driver Assistance Systems by a Combination of Design Time Testing and Runtime Monitoring</i> .....	217
10.06.2016	in Braunschweig <i>Uwe Haberlandt: Modellierung des Niederschlages für die hydrologische Bemessung</i> .....	222
14.10.2016	in Braunschweig <i>Regularien</i>	
11.11.2016	in Hannover <i>Regularien</i>	

### **Klasse für Geisteswissenschaften**

12.02.2016	in Braunschweig <i>Walther Ludwig: Scitis, quanto semper amore Graecarum rerum flagrem – Motive für den Höhepunkt des humanistischen griechischen Dichtens um 1600</i> .....	224
11.03.2016	<i>in Braunschweig</i> <i>Regularien</i>	
08.04.2016	<i>in Braunschweig</i> <i>Regularien</i>	
10.06.2016	in Braunschweig <i>Niklot Klüßendorf: Die deutschen Nachtigallensteuern im 19. Jahrhundert</i> .....	226
14.10.2016	in Braunschweig <i>Regularien</i>	
16.12.2016	in Braunschweig <i>Regularien</i>	

**FEIERLICHE JAHRESVERSAMMLUNG** am 29. April 2016

### **Carl Friedrich Gauß-Kolloquium „Vermessung der Erde vom Weltraum aus“**

*Nicolaas Sneeuw, Stuttgart*

Höhere Erdmessung: Historisch-mathematische Entwicklungen von Bruns bis Kaula und weiter

*Markus Rothacher, Zürich*

Nutzung von GNSS (Global Navigation Satellite Systems) in den Erdwissenschaften

*Jürgen Müller, Hannover MBWG*

Erdmessung mit Quanten und Relativität..... 238

Ansprache des Preisträgers

Prof. Dr.-Ing., Dr. h. c. mult. *Reiner Rummel*, München

### **Festversammlung im Altstadtrathaus**

*Dietmar Brandes, Präsident der BWG*

Begrüßung..... 252

Der Oberbürgermeister der Stadt Braunschweig

*Ulrich Markurth*

Grußwort..... 255

*Dietmar Brandes, Präsident der BWG*

Bericht..... 258

*Jürgen Müller, Hannover, MBWG*

Laudatio zur Verleihung der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille 2016 an

*Prof. Dr.-Ing Dr. h. c. mult. Reiner Rummel, München*..... 264

*Reiner Rummel, München*

Über die Anziehungskraft der Erde..... 269

Urkunde und Lebenslauf des Preisträgers..... 284

Klaus Gahl, Vizepräsident der BWG

Schlussworte..... 287

### **SYMPOSIEN UND KOLLOQUIEN**

#### **Archäologische Beiträge zur Erforschung der Geschichte des Braunschweiger Landes am 16. und 17.02.2016**

Kolloquium zum Gedenken an Hartmut Rötting

Programm..... 289

#### **12. Bioethik-Symposium „Lebensmittelsicherheit am 28.09.2016**

Programm..... 291

*Klaus Gahl & Christel Müller Goymann*

Bericht..... 293

#### **32. Braunschweiger Floristentreffen am 26.11.2016**

Programm..... 305

## ÖFFENTLICHE VORTRÄGE DER BWG

14.01.2016	Vortragsreihe im phaeno, Wolfsburg	
18.02.2016	„Mechanik“	
10.03.2016	Programm und Zusammenfassung.....	306
03.02.2016	Akademie-Vorlesungen im Schloss	
17.03.2016	„Der Harz als Natur- und Kulturraum“	
06.04.2016	Programm und Zusammenfassung.....	308
11.05.2016		
15.06.2016		
26.10.2016		
23.11.2016		
13.04.2016	Vortragsreihe „Wie kann die Integration von Flüchtlingen	
20.04.2016	gelingen? Psychologische Aspekte	
11.05.2016	Programm und Zusammenfassung.....	311
25.05.2016		
15.06.2016		
22.06.2016		
29.06.2016		
06.07.2016		
30.08.2016	Themenreihe „Naturphilosophie in der Praxis“	
29.09.2016	Programm und Zusammenfassung.....	314
26.10.2016		
15.11.2016		
30.11.2016		
20.09.2016	Vortragsveranstaltung „Glockenblumen & Co.“	
	Programm und Zusammenfassung.....	317
22.09.2016	Vortragsreihe im phaeno, Wolfsburg	
20.10.2016	„Der vermessen(d)e Mensch“	
24.11.2016	Programm und Zusammenfassung.....	318

## PREISVERLEIHUNGEN

**Verleihung des Braunschweiger Bürgerpreises für herausragende studentische Leistungen**

Programm.....	321
---------------	-----

## MITTEILUNGEN

Veröffentlichungen.....	323
-------------------------	-----

## PERSONALIA

Todesfälle.....	324
Nachrufe.....	325
Zuwahlen.....	335
Inhaber der Carl-Friedrich-Gauß Medaille.....	336

## Vorwort

Als traditionsreiche Gelehrten-gesellschaft ist die BWG bezüglich ihrer Arbeitsschwerpunkte, Vortragsveranstaltungen und Forschungsprojekte völlig selbstbestimmt. Dieses Privileg kann in der heutigen Zeit nicht hoch genug geschätzt werden, zumal damit auch das Recht der Selbstergänzung verbunden ist. So kann sie – im Rahmen der personellen und finanziellen Möglichkeiten – jederzeit neue Forschungsthemen aufnehmen, fächerübergreifenden Zusammenhängen nachspüren und wissenschaftliche Kooperationen eingehen.

Wissenschaftlicher Diskurs benötigt zu seiner Entfaltung Konzentration und Konzentrierung, zugleich lebt wissenschaftliche Erkenntnis aber von ihrer Vermittlung. Diesem Zweck dient auch unser Jahrbuch, dessen vorliegender Band die Tätigkeiten der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft im Jahr 2016 dokumentiert. Traditionell stehen die Vorträge auf den internen Sitzungen am Anfang des Jahrbuchs. An diesen können interessierte Wissenschaftler und Studierende, die nicht Mitglied der BWG sind, als Gäste zugelassen werden. Die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft versteht sich als Zentrum der Begegnung und des interdisziplinären Austausches über Fachgrenzen hinweg.

Die BWG gibt zwei Periodika heraus, seit 1949 die „Abhandlungen“ und seit 1983 das „Jahrbuch“. Inzwischen hat sich das Schwergewicht der Publikation von den Abhandlungen zum Jahrbuch verlagert – ebenso wie übrigens auch bei einigen Unionsakademien. Unsere Abhandlungen sind jedoch keineswegs eingestellt, sondern werden weiterhin der Veröffentlichung umfangreicher Tagungsberichte dienen. Sämtliche bisher erschienenen Bände beider Periodika sind im Volltext online zugänglich. Zur raschen Information über die unterschiedlichen Aktivitäten unserer Gesellschaft haben wir auch unsere Homepage wesentlich erweitert, so dass dort nun ebenfalls kürzere Texte publiziert werden. Wir würden uns freuen, wenn die Seiten der BWG oft und intensiv frequentiert werden.

Die Vermittlung von Wissenschaft in die Gesellschaft hinein ist eine wichtige Aufgabe der BWG. Hier konnten wir bei den zahlreichen Vorträgen, die gemeinsam mit unseren Kooperationspartnern Abt-Jerusalem-Akademie der Evangelischen Landeskirche in Braunschweig, Akademie der Wissenschaften zu Göttingen, TU Braunschweig und weiteren Forschungseinrichtungen veranstaltet wurden, im Berichtsjahr immerhin mehr als 2.400 Hörer erreichen. Diese Aufgabe, nämlich komplexe Sachverhalte zu erläutern, zwischen gesicherten Ergebnissen und Hypothesen zu differenzieren und dabei Interesse an der Forschung zu wecken, kann in Zeiten, in denen der gesellschaftliche Diskurs zunehmend

von Meinungen, eigenen Interessen und Weltbildern, weniger aber von überprüfbaren Fakten bestimmt wird, kaum überschätzt werden.

Das vorliegende Jahrbuch wurde gemeinsam von uns redigiert. Frau Müller-Goymann hat 2017 zuständigkeitshalber die Herausgabe der Publikationen der BWG übernommen.

Wir möchten Sie nun herzlich zur Lektüre unseres Jahrbuchs einladen!

*Prof. Dr. Christel Müller-Goymann*

Vizepräsidentin der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

*Prof. Dr. Dietmar Brandes*

Präsident der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft 2014-2016



## **Die Organe der BWG 1943 – 2016**

Konstituierende Sitzung: 30.11.1943

Eröffnungssitzung:	09.12.1943	[siehe Abhandlungen der BWG <b>21</b> (1969), 8]
Erste Sitzung:	1944	[siehe Abhandlungen der BWG <b>1</b> (1949), 169]
Zweite Sitzung:	1953	[siehe Abhandlungen der BWG <b>5</b> (1953), 212]
Dritte Sitzung:	1971	[siehe Abhandlungen der BWG <b>22</b> (1970), 291]
Vierte Sitzung:	1993	[siehe Jahrbuch der BWG (2007), 10]
Fünfte Sitzung:	2008	[siehe Jahrbuch der BWG (2008), 10 ff.]
Sechste Sitzung:	2010	[ <a href="http://www.bwg-nds.de/über-die-bwg/satzung">www.bwg-nds.de/über-die-bwg/satzung</a> ]

### **Präsidenten**

1943–45: Fritz Gerstenberg; 1946–48: Gustav Gassner; 1949–50: Hans Herloff Inhoffen; 1951–53: Eduard Justi; 1954–56: Leo Pungs; 1957–59: Max Kohler; 1960–62: Hans Kroepelin; 1963–66: Paul Koeßler; 1967–70: Hermann Blenk; 1971–77: Karl Gerke; 1978–80: Herbert Wilhelm; 1981–86: Karl Heinrich Olsen; 1987–92: Gerhard Oberbeck; 1993–95: Werner Leonhard; 1996–1999: Norbert Kamp; 2000–2013: Joachim Klein; seit 2014–2016: Dietmar Brandes

### **Generalsekretäre**

1943–45: Ernst August Roloff; 1946–48: Wilhelm Gehlhoff; 1949–50: Eduard Justi; 1951–53: Hermann Schlichting; 1954–1959: Hans Herloff Inhoffen; 1960–61: Hellmut Bodemüller; 1962–64: Hans Joachim Bogen; 1965–69: Hermann Schaefer; 1970–71: Karl Gerke; 1972–73: Arnold Beuermann; 1974–80: Karl Heinrich Olsen; 1981–82: Ulrich Wannagat; 1983–85: Hans Joachim Kanold; 1986–88: Egon Richter; 1989–91: Harmen Thies; 1992–94: Ulrich Wannagat; 1995–97: Helmut Braß; 1998–2000: Elmar Steck; 2001–2010: Claus-Artur Scheier

### **Vizepräsidentinnen/Vizepräsidenten**

2011–2012: Claus-Artur Scheier; seit 2011: Klaus P. G. Gahl; 2013–2014: Dietmar Brandes; seit 2014: Christel Charlotte Müller-Goymann

## **Vorsitzende der Klassen**

Bis 1954 SEKRETÄRE DER ABTEILUNGEN

### **Mathematik und Naturwissenschaften**

1943–47: G. Cario; 1948–50: P. Dorn; 1951–53: H.H. Inhoffen; 1954–57: P. Dorn; 1958–60: H. Kroepelin; 1961: H. Poser; 1962–64: H. Hartmann; 1965–66: H. Schumann; 1967–72: M. Grützmaker; 1973–76: U. Wannagat; 1977–80: H.R. Müller; 1981–84: E. Richter; 1985–89: O. Rosenbach; 1990–91: St. Schottlaender; 1992–94: H.-J. Kowalsky; 1995–97: H. Tietz; 1998–1999: K. Schügerl; 2000: G. Müller; 2001–2003: J. Heidberg; 2004–2006: E. Winterfeldt; 2007–2012: Th. Hartmann; 2013–2015: H.-D. Ehrich; seit 2016: Otto Richter

### **Ingenieurwissenschaften**

1943–48: E. Marx; 1949–53: L. Pungs ; 1954–56 : O. Flachsbar; 1957–60: W. Hofmann; 1961–64: H. Hausen; 165–70: G. Wassermann; 1971–77: H.W. Hennicke; 1978–79: Th. Rummel; 1980–83: M. Mitschke; 1984–93: R. Jeschar; 1994–96: H.-G. Unger; 1997–2000: E. Stein; 2001–2005: M. Lindmayer; 2006–2008: P. Wriggers; 2009–2011: U. Peil; seit 2012: J. Müller

### **Bauwissenschaften**

1943–48: ?; 1949–53: Th. Kristen; 1954–62: F. Zimmermann; 1963–67: A. Pflüger; 1968–69: J. Göderitz; 1970–73: W. Wortmann; 1974: K.H. Olsen; 1975–78: H. Duddeck; 1979–83: W. Höpcke; 1984–93: J. Herrenberger; seit 1994: vereinigt mit der Klasse für Ingenieurwissenschaften

### **Geisteswissenschaften**

1943–48: W. Jesse; 1949–53: W. Gehlhoff; 1954–56 (Obmann): W. Jesse; 1958–61 (Obmann): H. Glockner; 1962–68 (Obmann): H. Heffter; 1969–78: A. Beuermann; 1979–87: M. Gosebruch; 1988–89: H. Boeder; 1990–91: G. Maurach; 1992–1998: C.-A. Scheier; 1999: G. Maurach; 2000: C.-A. Scheier; 2001–2010: H.-J. Behr; seit 2011: K. Alpers

# PLENARVERSAMMLUNGEN

## Armenien – Überlebenskampf am Ararat\*

OTTO LUCHTERHANDT

Im Wendischen Dorfe 28, D-21335 Lüneburg, E-Mail: ottolucht@arcor.de;

### I. Tragische Nationalgeschichte. Ein Überblick

Die Formulierung des Themas signalisiert Dramatik. Sie ist berechtigt, denn sie ist dem Gegenstand geschuldet. Die Lage der Republik Armenien in ihrem südkaukasischen und vorderasiatischen Umfeld ist prekär. Das hat viele Ursachen, die nicht zum Wenigsten mit der geographischen Lage der Republik zu tun haben. Prekär war die Nationsbildung der Armenier, prekär auch ihre Staatlichkeit, und sie ist noch immer gefährdet. Der folgende Überblick greift ein paar Aspekte heraus, die für die Nationsbildung und für die Staatlichkeit der Armenier eine wesentliche Rolle gespielt haben und in denen sich die Problematik und Schwäche der Nations- und der Staatsbildung des armenischen Volkes widerspiegelt. „Drei Jahrtausende Unterdrückung und Behauptung“ hat Tessa Hofmann, eine der besten Kennerinnen Armeniens im deutschsprachigen Raum, das erste Kapitel ihres Buches „Die Armenier. Schicksal, Kultur, Geschichte“<sup>1</sup> überschrieben. Das ist treffend, und gegenwärtig befindet sich Armenien in einer weiteren geschichtlichen Phase der Selbstbehauptung in einer notorisch unruhigen Weltgegend, einer sprichwörtlich gewordenen politischen „Erdbebenzone“.

Bekanntlich sind die Armenier eines der ältesten Kulturvölker auf unserer Erde mit einer ununterbrochenen Kontinuität. Die Wurzeln ihrer Kulturgeschichte und Ethnogenese reichen bis in die Epoche der Großreiche Vorderasiens, der Assyrier, Hethiter und Urartäer, also bis in das 2. Jahrtausend v. Chr., zurück<sup>2</sup>, die Anfänge politischer Herrschaftsbildung, die mit dem Reich von Urartu verknüpft sind, bis in das 7. Jahrhundert v. Chr.<sup>3</sup>. Geschichtlicher Höhepunkt der Staatsbildung

---

\* Der Vortrag wurde am 09.01.2016 vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

<sup>1</sup> Nürnberg 1993, S. 9ff.

<sup>2</sup> D'jakonov, Igor' Michajlovič: Predistorija armjanskogo naroda [Vorschichte des armenischen Volkes], Erevan 1968, S. 123 ff.

<sup>3</sup> Pjotrowski, Boris B.: Urartu, München 1980, S. 180 ff.; Wartke, Ralf-Bernhard: Urartu. Das Reich am Ararat, Mainz, 2. Auflage 1998, S. 171 ff.; Hofmann, Tessa: Annäherung an Armenien. Geschichte und Gegenwart, München 1997, S. 22 ff.

war das armenische Großreich im 1. Jahrhundert v. Chr. Es erstreckte sich vom Mittelmeer im Südwesten bis zum Schwarzen Meer im Norden und zum Kaspischen Meer im Nordosten. Bis auf den heutigen Tag ist jenes Reich unter Tigran II. Artaschuni ein besonderer Fixpunkt des armenischen Nationalbewusstseins, des nationalen Stolzes und auch der Identität<sup>4</sup>.

Die in jenem Großraum, also in Ostanatolien und im Südkaukasus, siedelnden Armenier, dessen Kerngebiet in vielen Atlanten noch immer „Armenisches Hochland“ heißt, obwohl dort seit dem Völkermord vor 100 Jahren keine Armenier mehr leben, waren im ersten Jahrtausend nach Christi Geburt mal unter eigener, mal unter römischer und byzantinischer, mal unter persischer Herrschaft. In der Mitte des 11. Jahrhunderts eroberte das aus Mittelasien eingedrungene nomadische Turkvolk der Seldschuken, aus denen später die türkischen Osmanen hervorgehen sollten, unter ihrem Sultan Alp Arslan das Armenische Reich und zerstörten dessen Hauptstadt Ani (1064)<sup>5</sup>. Damit endete armenische Herrschaft in Nordostanatolien. In Südostanatolien, in Kilikien, wohin Armenier in großer Zahl geflüchtet waren, entstand dagegen wenig später ein von den angrenzenden christlichen Kreuzfahrerstaaten gestütztes armenisches Königreich unter der Dynastie der Rubeniden („Kleinarmenien“)<sup>6</sup>. Als es zweihundert Jahre später von den muslimischen Mameluken erobert und zerstört wurde (1375), hörte armenische politische Herrschaft in Anatolien („Westarmenien“) nach etwa 2000 Jahren für immer auf zu bestehen.

Gleichwohl ließen sich die Armenier in den folgenden Jahrhunderten trotz der von ihnen immer wieder erlittenen Diskriminierungen, willkürlichen Drangsalierungen, Unterdrückungsmaßnahmen und Verfolgungen aus ihren nun teilweise islamisierten und islamisch beherrschten Siedlungsgebieten in Ost- und Südostanatolien nicht vertreiben. Zuhilfenahme hielten sie an ihrer angestammten Heimat fest. Im Südkaukasus gelang ihnen das nur im gebirgigen Teil des nordpersischen Khanats Karabach, dem späteren Berg-Karabach. Dort konnte sich ein halbes Dutzend faktisch autonomer armenischer Kleinfürstentümer (persisch/russisch: „Melikstvo“) halten. Seit dem 18. Jahrhundert baten sie die Zaren, sie als Christen unter Russlands Schutz zu stellen<sup>7</sup>.

<sup>4</sup> Nersisjan, M. G. (Red.): *Istorija armjanskogo naroda s drevnejšich vremen do našich dnei* [Die Geschichte des armenischen Volkes von den ältesten Zeiten bis auf unsere Tage], Erevan 1980, S. 40 ff.

<sup>5</sup> Die Ruinen von Ani liegen unmittelbar an der heutigen armenisch-türkischen Westgrenze oberhalb des die Grenze bildenden Flusses Achurjan/Arpatschaj.

<sup>6</sup> Mikalejan, G. G.: *Istorija Kilikijskogo Armjanskogo gosudarstva* [Die Geschichte des Kilikischen Armenischen Staates], Erevan 1952, S. 81 ff.

<sup>7</sup> Babajan, David Klimovič: *Političeskaja istorija Karabachskogo Chanstva v kontekste arcachskoj diplomatii XVIII veka* [Politische Geschichte des Khanats von Karabach im Kontext der arzach'schen Diplomatie des 18. Jahrhunderts], Erevan 2007; Raffi [Akop Melik-Akopjan]: *Melikstva Chamcy (1600–1827). Materialy dlja novoj armjanskaj istorii* [Die Fünf Fürstentümer. Materialien zur neuen armenischen Geschichte], Erevan 1991 [Neuausgabe des 1882 in Tiflis erschienenen Buches].

So lebten die Armenier bis zum 20. Jahrhundert je nach der Region bis zu 600 oder gar bis zu 1000 Jahren unter diversen Fremdherrschaften, vor allem des osmanisch-türkischen und des persischen, schließlich, seit dem zweiten Drittel des 19. Jahrhunderts, auch des Russischen Reiches. Durch den Sieg über Persien und die Abtretung der persischen, nördlich des Flusses Arax liegenden Gebiete im Frieden von Turkmantschaj (10. Februar 1828) kam der gesamte Südkaukasus unter russische Herrschaft. Die russische Kolonialmacht vereinigte nur wenig später, am 21. März 1828, die beiden nordpersischen Khanate Ėrivan<sup>8</sup> und Nachičevan sowie den Kreis Ordubad, also die am Ararat gelegene zweite<sup>9</sup> historische Kernregion Armeniens, administrativ zum „Armenischen Gebiet“ (Armjanskaja Oblast')<sup>10</sup>. Sie siedelte hier ca. 50.000 Armenier aus Persien an, die für die Übersiedlung in das „christliche Zarenreich“ votiert und sich den russischen Truppen bei deren Heimkehr aus Persien angeschlossen hatten. Ein Jahr später kamen nach dem Ende des russisch-türkischen Krieges und dem Frieden von Adrianopel (2. September 1829) über 90.000 Armenier aus Nordostanatolien hinzu. Aus Furcht vor türkischen Racheaktionen hatten sie es vorgezogen, das Osmanische Reich zu verlassen und sich der auch an dieser Front siegreichen russischen Armee auf ihrem Rückmarsch in den Südkaukasus anzuschließen<sup>11</sup>.

Die Übersiedlung der Armenier in ihre angestammten Gebiete des Südkaukasus war in geschichtlicher Perspektive eine Rücksiedlung bzw. Rückkehr, denn sie machte – wenigstens zu einem kleinen Teil – Deportationen und Vertreibungen rückgängig, welche die Armenier in der Region des Ararat insbesondere seit dem 17. Jahrhundert von Seiten islamischer, persischer und türkischer Eroberer wiederholt erlitten hatten. Die von ihnen entvölkerten Landstriche waren vor allem mit muslimischen Kadscharen, aus Mittelasien stammenden turksprachigen Nomadenstämmen, besiedelt worden<sup>12</sup>.

Zwar hat das „Armenische Gebiet“ nur bis 1840 bestanden, aber die massenhafte Wiederansiedlung von Armeniern in ihrer historischen Heimat am Ararat, die

<sup>8</sup> Bis ins XX. Jahrhundert hinein hieß die Stadt im Russischen „Erivan“ (Эривань/ Ėrivan); erst 1936, also während der Sowjetepoche, trat „Jerevan“ (Ереван/ Erevan) an die Stelle.

<sup>9</sup> Die andere, erste Kernregion Armeniens ist seit dem Reich von Urartu das Gebiet um den Wan-See.

<sup>10</sup> Ausführlich Parsamjan, Vardan Aramovič: Istorija armjanskogo naroda 1801–1900 gg. Kniga pervaja [Die Geschichte des armenischen Volkes in den Jahren 1801 bis 1900, Erstes Buch], Erevan 1972, S. 71 ff.

<sup>11</sup> Parsamjan, a.a.O. S. 48ff.; 65 ff. Die Optionsrechte für die freie Übersiedlung waren in abstrakter Form, d. h. ohne ausdrücklich die Armenier als die faktisch Begünstigten zu nennen, sowohl im Friedensvertrag von Turkmantschaj (Art. XV), als auch in dem von Adrianopel (Art. XIII) verbriefte worden.

<sup>12</sup> Petruševskij, Il'ja Pavlovič: Očerki po istorii feodal'nych otnošenij v Azerbajdžane i Armenii v XVI–načalo XIX vv. [Grundzüge der Geschichte der Feudalbeziehungen in Aserbaidschan und Armenien vom 16. bis Anfang des 19. Jahrhunderts], Leningrad 1949, S. 72 ff.

dadurch in der Region nachhaltig veränderten interethnischen und interreligiösen Kräfteverhältnisse und die erstmalig in der Neuzeit geschehene Erhebung einer Region zu einem dem armenischen Volk ausdrücklich zugewiesenen Verwaltungsgebiet hatte, obwohl ihm ein förmlicher Autonomie-Status nicht eingeräumt war, sowohl große sozio-politische, als auch starke symbolische Bedeutung<sup>13</sup>. Sie war umso größer, als in jenem Gebiet Edschmiadzin liegt, von alters her das höchste geistliche Zentrum der weltweiten Armenischen Apostolischen Kirche und Sitz ihres Oberhauptes, des „Katholikos Aller Armenier“<sup>14</sup>. Rückblickend betrachtet stellt der Vertrag von Turkmentschaj den entscheidenden Wendepunkt in der neueren Geschichte Armeniens, seines Volkes und seiner Nation dar, denn ohne die von dem Vertrag eingeleitete ethnische Konsolidierung der Armenier im Südkaukasus wäre es hier 90 Jahre später nicht zur Entstehung der Republik Armenien gekommen.

Die staatenlose Zeit des armenischen Volkes endete am 28./30. Mai 1918, als nach dem Zusammenbruch des Zarenreiches die im Gouvernement Ėrivan lebenden Armenier ihre Unabhängigkeit erklärten<sup>15</sup>. Durch Flüchtlinge, die in mehreren Wellen dem während des Weltkrieges im Osmanischen Reich begangenen Völkermord entkommen waren, war die Region inzwischen ganz überwiegend von Armeniern bewohnt. Die so entstandene Republik Armenien wurde durch die Entente-Mächte des Weltkrieges, die 1919/1920 in Paris mit den besiegten Staaten Friedensverträge aushandelten („Pariser Vorortverträge“), förmlich anerkannt. Das geschah durch den mit der Türkei am 10. August 1920 geschlossenen Vertrag von Sèvres. Er sah vor, dass die Grenze zwischen Armenien und der Türkei durch die ostanatolischen Provinzen („Vilayets“) Erzerum, Trapezunt, Wan und Bitlis verlaufen sollte. Der Vertrag legte die Grenze aber nicht selbst fest, sondern beauftragte damit den US-Präsidenten Woodrow Wilson, dessen „Schiedsspruch“ für alle Seiten verbindlich sein sollte (Art. 89)<sup>16</sup>. Wilson erfüllte zusammen mit der von ihm eingesetzten Kommission zwar die Funktion und bestimmte per Schiedsspruch in kartographierter Form den Grenzverlauf<sup>17</sup>. Der

<sup>13</sup> Den Aspekt der Wiederherstellung der historischen Gerechtigkeit für das christliche Volk der Armenier hat der russische Militärschriftsteller, Generalmajor Potto, in seiner klassischen Darstellung der Eroberung des Kaukasus stark betont. Siehe Potto, Vasilij Aleksejevič: *Kavkazskaja vojna*. Tom 3. *Persidskaja vojna 1826–1828 gg.* [Der Kaukasuskrieg. Band 3. Der Persische Krieg in den Jahren 1826–1828], Moskau 2006 (Reprint der Erstausgabe Sankt Petersburg 1887), S. 457 f.;

<sup>14</sup> So der offizielle Titel. Offizielle Bezeichnung der Kirche war damals, ausweislich des Kirchenstatuts von 1836, Armenisch-Gregorianische Kirche, genannt nach ihrem Gründer, dem Hl. Grigor Lusavorič.

<sup>15</sup> Ausführlich zur Entstehung der Republik Hovannisian, Richard G.: *The Republic of Armenia*. Vol. I. *The First Year 1918–1919*, Berkeley-Los Angeles-London 1971, S. 30 ff.

<sup>16</sup> Französischer Text des Vertrages von Sèvres bei Asenbauer, Haig E.: *Zum Selbstbestimmungsrecht des armenischen Volkes von Berg-Karabach*, Wien 1993, S. 240–283.

<sup>17</sup> Text des Schiedsspruchs bei Asenbauer, a.a.O. S. 284 f.; vollständiger Text des Kommissionsberichts (russisch): Papjan, Ara (Hrsg.): *Arbitražnoe rešenje presidenta Soedinnnych Štatov Ameriki Vudro*

Vertrag von Sèvres blieb aber toter Buchstabe, weil er von der alten, nur noch formell für die Türkei handelnden osmanischen Regierung abgeschlossen worden war, von den Ostanatolien beherrschenden, von Mustafa Kemal Pascha (seit 1935: „Atatürk“)<sup>18</sup> angeführten türkischen Nationalisten dagegen abgelehnt und bekämpft wurde<sup>19</sup>. Hinzukam, dass die Entente-Mächte kriegsmüde waren und daher an der Durchsetzung des Vertrages mit militärischen Mitteln kein Interesse zeigten, die Republik Armenien aber dafür zu schwach war, inzwischen vielmehr selbst von der türkischen Armee existentiell bedroht wurde. Im Übrigen lebten in Ostanatolien zu dieser Zeit infolge des Völkermords fast keine Armenier mehr<sup>20</sup>.

Die Republik Armenien konnte die türkische Bedrohung zwar mit letzten Kräften abwehren, verlor 1920/1921 aber gleichwohl ihre Unabhängigkeit, denn – gestützt von der Roten Armee – kam in Erivan ein KP-Regime an die Macht, das eine „Armenische Sozialistische Sowjetrepublik“ ausrief<sup>21</sup>. Ebenso wie in den inzwischen von der Roten Armee eroberten Nachbarrepubliken Georgien und Aserbaidschan war das armenische KP-Regime der nicht föderalistisch, sondern zentralistisch, unitarisch organisierten<sup>22</sup> Kommunistischen Partei Sowjetrusslands<sup>23</sup> strikt untergeordnet. Demgemäß wurde Armenien erneut von Russland, nun von Moskau aus, beherrscht und in die förmlich am 30. Dezember

---

Vil' sona. Pol' nyj doklad Komissii po arbitražu granicy meždu Turciej i Armeniej. Vašington 22 nojabrja 1920 goda [Schiedsrichterliche Entscheidung des Präsidenten der Vereinigten Staaten von Amerika, Woodrow Wilson. Vollständiger Bericht der Schiedskommission für die Grenze zwischen der Türkei und Armenien. Washington, den 22. November 1920] – mit Karten. Erevan 2015.

<sup>18</sup> 1934 ließ Mustafa Kemal alle osmanischen Titel („Bey“, „Effendi“ und „Pascha“) per Gesetz abschaffen, legte „Pascha“ als Teil seines Namens ab und entschied sich, „Atatürk“ (Vater der Türken) als Familiennamen anzunehmen. Das Parlament („Große Nationalversammlung“) erhob seine Namensänderung zum Gesetz (November 1935). Gülbeyaz, Halil: Mustafa Kemal Atatürk. Vom Staatsgründer zum Mythos, 2. Auflage, Berlin 2004, S. 216.

<sup>19</sup> Die Armenien betreffenden Artikel des Vertrages von Sèvres wurden von den Alliierten auf ihrer Londoner Konferenz Anfang März 1921 revidiert. Durch den mit der kemalistischen Türkei am 24. Juli 1923 geschlossenen Friedensvertrag von Lausanne wurde der Vertrag von Sèvres schließlich abgelöst. Er erwähnt „Armenien“ oder die „Armenier“ nicht mehr, ja nicht einmal „Christen“, sondern spricht nur noch von „nicht-muslimischen Minderheiten“ (Section III. Protection of Minorities – Art. 37 ff.).

<sup>20</sup> Mandelstam, André N.: Das armenische Problem im Lichte des Völker- und Menschenrechts, Berlin 1931; Asenbauer, Zum Selbstbestimmungsrecht (Anm. 16), S. 58 ff.

<sup>21</sup> Nersisjan, Istorija armjanskogo naroda (Anm. 4), S. 292 ff.

<sup>22</sup> Der VIII. Parteikongress der RKP (b) vom März 1919 hatte die strikte Unterordnung der KP-Organisationen der formal selbständigen nationalen Sowjetrepubliken (Ukraine usw.) unter die KP Sowjetrusslands beschlossen. Siehe: KPSS v rezoljucijach i rešenijach s-ezdov, konferencij i plenimov CK. Čast' I (1898–1925) [Die KPdSU in Resolutionen und Entscheidungen der Konkresse, Konferenzen und Plenarsitzungen des ZK. Teil I]. Moskau 1953, S. 443.

<sup>23</sup> Vor der Gründung der UdSSR hieß die Kommunistische Partei Russlands „Vserossijskaja Kommunističeskaja Partija (bol'sheviki)“, also „Gesamtrussländische Kommunistische Partei (Bolschewiki)“ bzw., russisch abgekürzt, VKP (b). Im Deutschen ist die Abkürzung „RKP(b)“ üblich. Sie wird auch hier verwendet.



1922 gegründete Union der Sozialistischen Sowjetrepubliken (UdSSR) eingliedert. Die Eingliederung erfolgte allerdings nicht unmittelbar, sondern über die am 12. März 1922 von Armenien, Aserbaidschan und Georgien durch einen von der RKP(b) oktroyierten Vertrag gegründete „Transkaukasische Sozialistische Föderative Sowjetrepublik (ZSFSR)“<sup>24</sup>. Sie war geschaffen worden, um die süd-kaukasischen Kolonialgebiete des Zarenreiches, zwischen denen starke nationale Gegensätze bestanden und deren Entwicklung während des Bürgerkrieges weit zurückgeworfen worden war, sozio-ökonomisch und politisch beschleunigt zu integrieren. 1936 sah Moskau den Zweck als erfüllt an, und die „Transkaukasische“ Föderation wurde im Übergang zur neuen UdSSR-Verfassung vom 5. Dezember 1936 aufgelöst. Dadurch wurde nun auch die Sowjetrepublik Armenien – ebenso wie Aserbaidschan und Georgien – unmittelbar Mitglied der Sowjetunion.

Bis 1990/1991, also 70 Jahre, hat Armenien als „Armenische Sozialistische Sowjetrepublik“ im Staatsverband der UdSSR existiert. Straff zentralistisch-unitarisch von der Partei- und Staatsführung der Union, „von Moskau“, regiert, hatte sie auf allen Gebieten des staatlichen und gesellschaftlichen Lebens – wie alle anderen Unionsrepubliken auch – nur einen sehr geringen Spielraum für eigene Entscheidungen und nationale Autonomie<sup>25</sup>. Aber die Existenz als Teil der Sowjetunion gab den Armeniern einen sicheren politischen und administrativen Rahmen für das Überleben in einer schwierigen und – bis in die jüngste Zeit mannigfach erlittenen – feindlichen Umgebung.

So gering der Erfolg des armenischen Volkes gewesen ist, dauerhaft eine eigene politische Herrschaft und Staatlichkeit zu etablieren, so erfolgreich war es, feste Grundlagen einer ausgeprägten nationalen Kultur und Identität zu schaffen, Grundlagen, die bis zum heutigen Tage überdauert haben und lebendig und stark genug waren, die armenische Nation unter allen von ihr zu ertragenden Fremdherrschern und Fremdherrschaften, so unterschiedlich diese auch waren, zu bewahren<sup>26</sup>. Bewirkt hat dies in erster Linie das spezifische national-religiöse Profil, die eigenartige, starke christliche, konfessionelle Tradition des armenischen Volkes, institutionell – seine Nationalkirche<sup>27</sup>. Hervorzuheben ist

<sup>24</sup> Text des Vertrages: *Istorija Sovetskij Konstitucii 1910–1956* (v dokumentach) [Die Geschichte der Sowjetverfassung in Dokumenten 1917–1956], Moskau 1957, S. 358/359.

<sup>25</sup> Einen zwar gedrängte, aber in allen relevanten Beziehungen präzise Darstellung des partei-staatlichen Herrschaftssystems der Sowjetunion liefert: Boris Meissner bei Fincke, Martin (Red.): *Handbuch der Sowjetverfassung*. Band I, Berlin (-West) 1983, mit der Einleitung, Teile III. bis V. (S. 75 – 109) sowie seiner Kommentierung des Art. 6 (S. 159–176).

<sup>26</sup> Als Zeugnis und Beleg dieser Tatsache sei hier nur hingewiesen auf zwei Ausstellungskataloge. 1.: *Armenien. Wiederentdeckung einer alten Kulturlandschaft*, Museum Bochum, Januar bis April 1995; 2.: *„Armeni syn die menschen genant...“*. Eine Kulturbegegnung in der Staatsbibliothek, Berlin 2000.

<sup>27</sup> Am informativsten ist dazu immer noch der Überblick bei: Spuler, Bertold: *Gegenwartslage der Ostkirchen in ihrer nationalen und staatlichen Umwelt*, 2. Auflage, Frankfurt/M 1968, S. 288 ff.



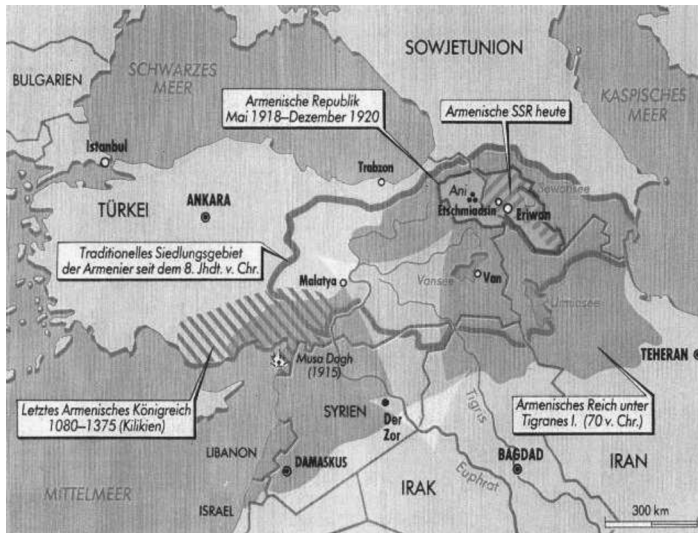


Abbildung 1:

hier die weithin bekannte Tatsache, dass das Christentum erstmals in Armenien zur Staatsreligion erhoben wurde (301)<sup>28</sup>, etwa ein Dreivierteljahrhundert, bevor Kaiser Theodosius der Große den Schritt im Ost- und Weströmischen Reich vollzog (380)<sup>29</sup>. Die Christianisierung Armeniens setzte sich unter König Trdat (griech. Tiridates) III. durch, der sich nach heftigem Widerstand von dem aus Syrien stammenden Missionar Grigor von der Wahrheit der christlichen Botschaft schließlich überzeugen und taufen ließ<sup>30</sup>. Grigor, von Trdat zunächst in das Verließ von Chor Virab („Tiefe Grube“) geworfen, war standhaft geblieben und hatte seinem Glauben nicht abgeschworen.

Grigor erhielt den Beinamen „Lusavoritsch“, d.h. Lichtträger im Sinne von Erleuchter der religiösen Wahrheit. Er wurde erster Bischof der armenischen Kirche. Die bis heute verbreitete Bezeichnung „Armenisch-Grigorianische Kirche“ hat hier ihren Ursprung.

<sup>28</sup> Archiepiskop Magakija Ormanjan: *Armjanskaja Cerkov', ee istorija, učenje, upravlenie...* [Die Armenische Kirche, ihre Geschichte, Lehre, Verwaltung...], Erevan 2005, S. 16 ff.; Hofmann, *Die Armenier* (Anm. 1), S. 123 ff. Die Jahreszahl ist zwar nicht unumstritten, und verschiedentlich wird das Ereignis etwas später angesetzt, aber die frühe Wende zur Christianisierung Armeniens ist unstreitig.

<sup>29</sup> Lippold, Adolf: *Theodosius der Große und seine Zeit*, München 1980, S. 21 ff.

<sup>30</sup> Die Geschichte der Bekehrung Trdats trägt legendenhafte Züge. Siehe dazu Hofmann, *Die Armenier* (Anm. 1), a.a.O.



Abbildung 2: Chor Virab, Gefängnis, später Kloster geworden, ist wegen seiner grandiosen Lage gegenüber vom Ararat einer der eindrucksvollsten Orte Armeniens.

Die exzeptionelle Stellung des armenischen Christentums ist durch zwei Vorgänge nachhaltig verstärkt worden: die Schaffung einer eigenen Schrift und das monophysitische Glaubensbekenntnis.

Die Entwicklung eines eigenen Alphabets geschah durch den Mönch Mesrop Maschtoz zu Anfang des 5. Jahrhunderts. Mesrop erfand die Schrift, um die Bibel leichter in das Armenische übersetzen zu können. Er lehnte sich dabei an die persisch-aramäische und die griechische Schrift an<sup>31</sup>. Das Alphabet genießt die Verehrung eines nationalen, religiösen und kulturellen, Heiligtums.

Die zweite, folgeschwere Besonderheit ist theologischer Natur: Die armenische Kirche lehnte die christologische, calzedonensische, zur „Orthodoxie“ erhobene Lehre, das Jesus Gott und Mensch gewesen sei, ab und bekannte sich stattdessen zur monophysitischen im Sinne einer miaphysitischen Lehre<sup>32</sup>: Jesus

<sup>31</sup> Jensen, Jens: Die Schrift in Vergangenheit und Gegenwart, Berlin (-Ost) 1969, S. 427–434.

<sup>32</sup> Lange, Christian: „So daß wir miteinander jenen Glauben bekennen können, der uns gemeinsam ist.“ Überlegungen über zwei westliche Bezeichnungen für zwei christologische Positionen des fünften und sechsten Jahrhunderts aus dem christlichen Orient, in: Ostkirchliche Studien, Bd. 53 (2004), S. 287–308; Krüger, G.: Stichwort „Monophysiten“, in: Realenzyklopädie für protestantische Theologie und Kirche, 3. Auflage, 13. Band, Leipzig 1903, S. 372–401 (398 ff.).

sei ein Wesen gewesen, worin das Göttliche und das Menschliche zu einer völligen, unauflöslichen Einheit, zu einer einzigen Natur („*mia physis*“), aber bei Dominanz des Göttlichen verschmolzen gewesen sei. Die Armenische Apostolische Kirche stellte sich damit in einen zu jener Zeit scharfen Gegensatz zu der in Byzanz und in Rom herrschenden Zwei-Naturen-Lehre, dem Dyophysitismus, die auf dem 4. Ökumenischen Kirchenkonzil von Calzedon im Jahre 451 für verbindlich erklärt worden war. Bedingt durch kriegereische Ereignisse, hatten die Armenier an dem Konzil nicht teilnehmen können, und so hielten sie an der bei ihnen bis dahin maßgebenden Lehre von der einen, „henotischen“ Natur Jesu Christi fest. Die seit langem immer wieder aufbrechenden machtpolitischen Gegensätze zwischen dem armenischen Königreich einerseits und Ostrom bzw. Byzanz andererseits dürften den theologisch-kirchlichen Sonderweg Armeniens wesentlich gefördert und stabilisiert haben. So hatte Armenien von Anfang an, unabhängig von Rom und Byzanz, ein eigenes kirchliches Oberhaupt und ein eigenes geistliches Zentrum, das bereits erwähnte Kloster Edschmiadzin am Ort der alten Hauptstadt Wagarschapat unweit von Erevan.

Die betreffenden Vorgänge bedeuteten eine völlige geistige, theologische und institutionelle Verschmelzung der grigorianischen Kirche mit dem armenischen Volk und seinem Schicksal seit der Spätantike. Seit dem 5. Jahrhundert besitzt die armenische Kirche infolgedessen alle wesentlichen Kennzeichen einer nationalreligiösen Institution: eigene Kirchensprache, eigene Schrift, eigene Theologie, eigene Jurisdiktion und eine auf alledem beruhende spezielle, quasi-nationale Tradition. Das ist ein Faktum und ein Phänomen, dessen Bedeutung man für die Bewahrung der Identität und für den nationalen Zusammenhalt der Armenier und des armenischen Volkes gar nicht überschätzen kann. Die Gemeinschaft und Geborgenheit in dieser starken nationalkirchlichen Institution und Tradition hat das armenische Volk, gleich unter welcher politischen und religiösen Fremdherrschaft es im Orient oder in weltweiter Zerstreuung („Diaspora“) lebte und lebt, vor dem Untergang und Verschwinden durch politische Unterdrückung, kulturelle Entfremdung und soziale Assimilation bewahrt. Nur dank ihrer Nationalkirche hat das armenische Volk überlebt, als sein angestammter Siedlungsraum in Ostanatolien und am Ararat Jahrhunderte hindurch Zankapfel zwischen den Großmächten, Persien, dem Osmanischen Reich und Russland war, die Türken die Armenier islamisieren und das Zarenreich gegen Ende des 19. Jahrhunderts sie zu „orthodoxen“ Christen machen wollte. Die nationalreligiöse Identität gab den Armeniern eine Widerstandskraft, die stärker war als alle gegen sie gerichteten Druckmittel und Verlockungen.

Als in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts die Ideologie des Nationalismus und des Nationalstaats auch Südosteuropa und den Vorderen Orient erfasste und die Türken schrittweise ihre Herrschaft über den Balkan verloren<sup>33</sup>, war es un-

---

<sup>33</sup> Hösch, Edgar: Geschichte der Balkanländer. Von der Frühzeit bis zur Gegenwart, 4. Auflage, München 2002, S. 172 ff.

ausweichlich, dass sich im Osmanischen Reich auch die religiös- kulturellen und die ethnischen Unterschiede und Gegensätze zwischen der armenischen Gemeinschaft (arab./türkisch: „millet“)<sup>34</sup> einerseits und dem im Staat herrschenden islamischen Türkentum andererseits verschärften. Der Emanzipations- und Abspaltungsprozess der Balkanvölker vom Osmanischen Reich ließ im letzten Viertel des 19. Jahrhunderts auch im „armenischen Millet“ die Forderung nationaler, politischer Autonomie aufkommen. Unter der im Osmanischen Reich bestehenden absolutistischen Ordnung des [türkischen] Sultanats in Realunion mit dem islamischen Kalifat war aber die Existenz der Armenier schon als solche prekär, durch die politischen Autonomieforderungen wurde sie noch prekärer. Bedingt auch durch das despotische Regime Sultan Abdul Hamid II., entstanden kurz hintereinander armenische Parteien – die „Revolutionäre [Sozialdemokratische] Partei ‘Gnčak/Die Glocke‘“ (gegründet in Genf, 1887), die „Armenische Revolutionäre Föderation ‘Dašnakcutjun/ Föderation‘“ (Tiflis, 1890)<sup>35</sup> und die „Armenische Konstitutionell-Demokratische Partei ‘Sarmanadir-Ramkavar‘“ (Wan/ Konstantinopel, 1885/1908). Teils strebten sie einen Autonomiestatus, teils die staatliche Unabhängigkeit an<sup>36</sup>.

Mit dem erklärten Ziel, den aufstrebenden armenischen Nationalismus im Keim zu erstickern und die „armenische Frage zu lösen“, instrumentalisierte Sultan Abdul Hamid den traditionell unter Türken und Kurden weit verbreiteten, teils religiös begründeten, teils in sozialem Neid wurzelnden Hass auf die Armenier, initiierte und steuerte erstmals zentral, von oben, Mordaktionen, Pogrome und sonstige Gewalttätigkeiten. Den Massenverfolgungen fielen zwischen 1894–1896 nach unterschiedlichen Schätzungen bis zu 300.000 Armenier zum Opfer<sup>37</sup>. Sie lösten eine weitere, große Fluchtwelle in den von Russland beherrschten Südkaukasus aus<sup>38</sup>.

Dass der Hass auf die Armenier auch von der radikalen türkischen Opposition im Osmanischen Reich geteilt wurde, sollte sich im April 1909 zeigen, als die

<sup>34</sup> Das aus dem Arabischen stammende und in das Türkische übernommene Wort „millet“, das Gemeinschaft bedeutete, bezeichnete in der osmanischen Staatsordnung eine „Glaubensnation“, d. h. eine Gemeinschaft, in welcher die religiöse Konfession und das Ethnos zu einer Einheit verbunden oder gar völlig verschmolzen waren. Darauf beruhte das staatsrechtliche „Millet-System“. Dazu Koutcharian, Gerayer: Der Siedlungsraum der Armenier unter dem Einfluss der historisch-politischen Ereignisse seit dem Berliner Kongress 1878: Eine politisch-geographische Analyse und Dokumentation, Berlin 1989, S. 40–45.

<sup>35</sup> Die Parteigänger von „Daschnakcutjun“ werden bis heute als „Daschnaken“ bezeichnet.

<sup>36</sup> Hofmann, Annäherung an Armenien (Anm. 3), S. 80 ff.

<sup>37</sup> Ausführlich zu den Schätzungen der Opferzahlen Koutcharian, Der Siedlungsraum der Armenier (Anm. 34), S. 98–105.

<sup>38</sup> Zu den politisch-diplomatischen Reaktionen der europäischen Großmächte auf die Gewalttaten gegen die seit dem Berliner Vertrag (1878) formell unter deren Schutz stehenden Armenier eingehend Mandelstam, Das armenische Problem (Anm. 20), S. 22 ff.

mit der Revolution von 1908 an die Macht gekommenen „Jungtürken“ in Kilikien (Adana) einen Pogrom initiierten, bei dem binnen weniger Tage ca. 30.000 Armenier teils beraubt und vertrieben, teils ermordet wurden<sup>39</sup>.

Die von den Jungtürken gegründete, das Osmanische Reich nun beherrschende Partei „Einheit und Fortschritt“ propagierte ein von Nationalismus, Chauvinismus und Rassismus bestimmtes Programm. Es sah als Ziel die Schaffung einer homogenen, islamischen, türkischen Nation vor, in der für Armenier und andere christliche Volksgruppen keinen Platz vorgesehen war; die Jungtürken betrachteten sie als „Fremdkörper“<sup>40</sup>. Die mörderischsten Konsequenzen aus ihrer Ideologie zogen sie 1915/1916, als sie im Schatten des Weltkrieges unter der Führung ihres Innenministers Tala'at Pascha planmäßig das „armenische Millet“ im Reich vernichteten, „Prototyp“ jenes Verbrechens, das seit dem 9. Dezember 1948 als „Völkermord“ vom Völkerrecht als Straftatbestand („crime under international law“) betrachtet wird<sup>41</sup>. Weit über 1 Million Armenier kamen bei den Deportationen, Überfällen und Massakern sowie auf den Todesmärschen in die Syrische Wüste ums Leben<sup>42</sup>. Hunderttausende flüchteten in die Nachbarländer, viele wiederum in das von Russland kontrollierte Nordostanatolien und in den Südkaukasus<sup>43</sup>. Bis 1922 war die armenische Bevölkerung Anatoliens fast vollständig ausgelöscht.

Schauen wir auf die Republik Armenien, dann belehrt uns ein Blick auf die Landkarte darüber, dass es sich bei ihr um Ostarmenien, um einen kleinen territorialen Rest des einstigen Armenien handelt, um ein „Restarmenien“.

Die Überlebenden des Völkermords irrten durch viele Länder des Nahen Ostens, Europas und nach Übersee. Unter dem erschütternden Eindruck auch des armenischen Schicksals hat der vom Völkerbund eingesetzte Kommissar für das

<sup>39</sup> Kirakosjan, Džon Sajakovič: Mladoturki pered sudom istorii [Die Jungtürken vor dem Gericht der Geschichte], Erevan 1986, S. 129 ff.

<sup>40</sup> Dazu grundlegend: Dabag, Mihran: Jungtürkische Visionen und der Völkermord an den Armeniern, in: Dabag, Mihran/ Platt, Kristin (Hrsg.): Genozid und Moderne. Band 1: Strukturen kollektiver Gewalt im 20. Jahrhundert, Opladen 1998, S.152–206 (156 ff.).

<sup>41</sup> UN-Konvention zur Verhütung und Bekämpfung von Völkermord vom 9.12.1948. Zum Verbrechenstatbestand des Völkermords ausführlich: Luchterhandt, Otto: Der türkisch-armenische Konflikt, die Deutschen und Europa, Hamburg 2003, S. 26ff.; derselbe: Die „Srebrenica-Entscheidung des Internationalen Strafgerichtshofes für das ehemalige Jugoslawien und der Völkermord an den Armeniern, in: Armenisch-Deutsche Korrespondenz (ADK) Jg. 2007, Heft 3, S. 27–30 (29 f.); Akçam, Taner: The Young Turks` Crime Against Humanity. The Armenian Genocide and Ethnic Cleansing in the Ottoman Empire, Princeton/ Oxford 2012, S. 203 ff.; 373 ff.; Schabas, William A.: Genozid im Völkerrecht, Hamburg 2003, S. 289 ff. (jeweils mit zahlreichen weiteren Nachweisen).

<sup>42</sup> Zu den Zahlen der Opfer siehe Koutcharian, Der Siedlungsraum der Armenier (Anm. 34), S. 124 ff.

<sup>43</sup> Исторические миграции армянского населения [Historische Migrationen der armenischen Bevölkerung], in: <https://ru.wikipedia.org/wiki> [Punkt 4., S. 14f.].



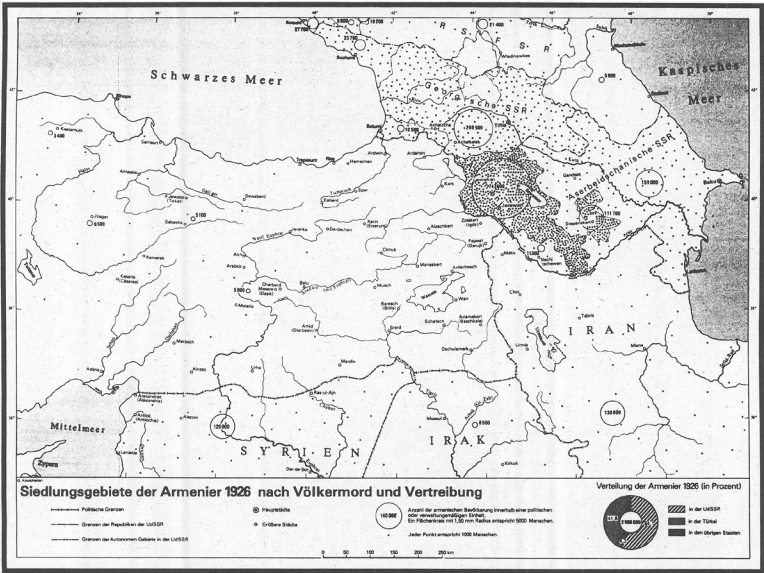


Abbildung 3: Siedlungsgebiete der Armenier 1926 nach Völkermord und Vertreibung.

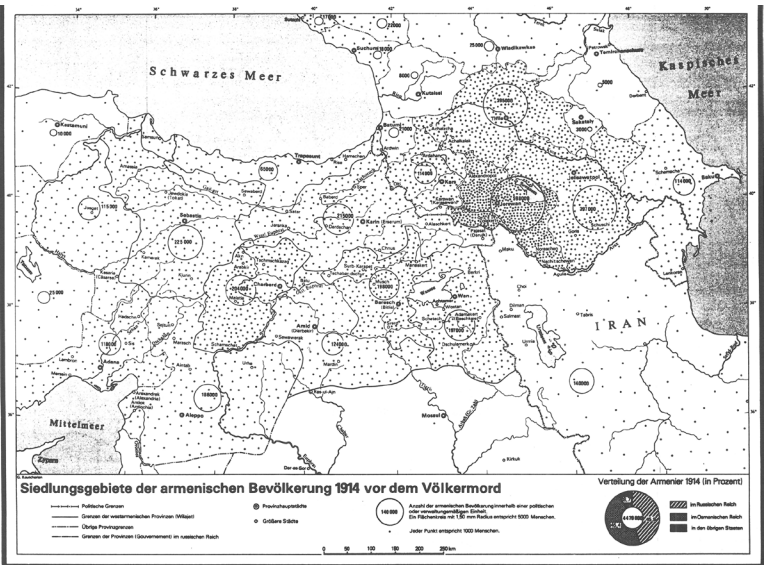


Abbildung 4: Siedlungsgebiete der armenischen Bevölkerung 1914 vor dem Völkermord.

Flüchtlingswesen<sup>44</sup>, der berühmte norwegische Polarforscher Fridtjof Nansen, einen von den Mitgliedstaaten der Vereinbarung ausgestelltten, aber international anerkannten Flüchtlingsausweis, den sogenannten Nansen-Pass, einführen lassen<sup>45</sup>.

Das armenische Volk ist durch die Pogrome, Vertreibungen und Massaker, die im Osmanischen Reich seit dem Ende des 19. Jahrhunderts an ihm begangen worden sind und im Genozid von 1915/1916 ihren grausigen Höhepunkt erreichten, aufs Schwerste traumatisiert worden<sup>46</sup>. Die weitaus meisten Familien der gegenwärtig weltweit ungefähr 6 Mio. Armenier kann man als Überlebende der Verfolgungen und des Völkermords bezeichnen. Sie tragen familiäre und persönliche Erinnerungen an die Opfer mit sich, an deren schreckliche Schicksale und an die mehr oder weniger schwierigen Umstände, unter denen sie sich in der Fremde eine neue, sichere Existenz schaffen mussten.

Es liegt nahe, an dieser Stelle zu einem kurzen Vergleich zwischen Armeniern und Juden abzuschweifen, weil zwischen ihnen auffällige Gemeinsamkeiten bestehen. Die Armenier teilen mit den Juden das Schicksal einer sich durch ihre gesamte Geschichte ziehende Verfolgungen bis hin zum Völkermord traumatisierten Nation. Beide Völker haben ihre geschichtlichen Wurzeln im vorderasiatischen Raum der frühen Hochkulturen und reichen mit ihrer Geschichte bis weit in das Altertum zurück. Armenier und Juden haben schon früh ihre Staatlichkeit verloren und unter Fremdherrschaft leben müssen, die Juden noch 1000 Jahre vor den Armeniern.

Juden und Armenier haben seit Jahrhunderten in weltweiter Zerstreuung gelebt und in der Diaspora viele Formen und Methoden der Anpassung und des Überlebens entwickelt, entwickeln müssen. In ihrer fremden und meist feindlichen Umgebung haben sie sich als Volksgruppen aber vor allem dank ihrer unikalen, überaus starken nationalreligiösen und kulturellen Identität, Prägung und Tradition behaupten können. Der von ihrer existentiellen Gefährdung erzeugte Druck

<sup>44</sup> Nansen war ein herausragender Zeuge der Folgen des Völkermords an den Armeniern, ihrer Vertreibungen und Fluchtbewegungen. Siehe: Nansen, Fridtjof: *Betrogenes Volk. Eine Studienreise durch Georgien und Armenien als Oberkommissar des Völkerbundes*, Leipzig 1928.

<sup>45</sup> Luchterhandt, Otto: Stichwort „Nansen-Pass“, in: Brandes, Detlef/ Sundhaussen, Holm/ Troebst, Stefan (Hrsg.): *Lexikon der Vertreibungen. Deportation, Zwangsaussiedlung und ethnische Säuberung im Europa des 20. Jahrhunderts*, Wien/Köln/Weimar 2010, S. 457/458.

<sup>46</sup> Platt, Kristin: Historische und traumatische Situation. Zur wissenschaftlichen Beschäftigung mit Extremtraumatisierungen durch kollektive Gewalt und Genozid, in: Dabag, Mihran/ Kapust, Antje/ Waldenfels, Bernhard (Hrsg.): *Gewalt. Strukturen, Formen, Repräsentationen*, München 2000, S. 260-278. Zur Bedeutung der traumatischen Erinnerung für die Identität der Armenier als Volk siehe Niethammer, Lutz: *Diesseits des „Floating Gap“: Das kollektive Gedächtnis und die Konstruktion von Identität im wissenschaftlichen Diskurs*, in: Platt, Kristin/ Dabag, Mihran (Hrsg.): *Generation und Gedächtnis. Erinnerungen und kollektive Identitäten*, Opladen 1995, S. 25–50.

und Zwang, fähiger, stärker und erfolgreicher zu sein als der durchschnittliche Angehörige ihres Aufenthaltsstaates, brachte ihnen Neid, Feindseligkeit und Hass ein und machte sie immer wieder zu Opfern von Willkür und Gewalt.

Armenier und Juden haben beide erst sehr spät – im 20. Jahrhundert – nationale Staatlichkeit begründen, einen Nationalstaat errichten können, beide in ihren angestammten, historischen Siedlungsgebieten, die Armenier 1918 im Südkaukasus, also in Ostarmenien, die Juden 1948 in Palästina. Beide Staaten befinden sich dabei in einer prekären Lage, nämlich in einer überwiegend feindlichen Nachbarschaft: die Republik Armenien eingekeilt zwischen der Türkei und der türkischen Republik Aserbaidschan, Israel – wie eine Insel – in einer durchweg arabisch-muslimischen Umwelt. Ihre Existenz ist gefährdet. Beide Staaten haben deswegen ein besonders starkes Sicherheitsbedürfnis, das infolge der genozidären Traumatisierung noch gesteigert ist. Gleichwohl sind sie weitgehend auf sich selbst gestellt. Immerhin verfügen beide Staaten über Schutzmächte, die, bei allen politischen Differenzen, ihre Existenz sichern, im Falle Armeniens Russland, im Falle Israels die USA.

## **II. Die Republik Armenien: schwieriger Start in die Unabhängigkeit und der Kampf um Berg-Karabach**

### **a. Schwieriger Start in die Unabhängigkeit (1990/1991)**

Die Sowjetrepublik Armenien startete unter äußerst schwierigen Umständen und Rahmenbedingungen in die Unabhängigkeit. Am 23. August 1990 erklärte das Parlament („Oberster Sowjet“) die Unabhängigkeit der Republik. Die Unabhängigkeitserklärung hing allerdings in der Schwebe, denn erst ein Jahr später, nach dem gescheiterten August-Putsch gegen Michail Gorbatschow, wagte es die armenische Führung in Erevan, das Volk über die Erklärung abstimmen zu lassen. Im Referendum vom 21. September 1991 votierte es mit über 90% der Abstimmungsberechtigten für die Unabhängigkeit<sup>47</sup> und besiegelte damit den Austritt Armeniens aus einer Sowjetunion, die nun beschleunigt ihrem Ende (25.12.1991) entgegenging.

Die Auflösung der UdSSR hatte sich infolge der von Michail Gorbatschows Perestroika teils ausgelöst und teils geförderten freiheitlichen Schubkräfte vorbereitet. Die bis zu Gorbatschows Machtantritt (März 1985) totalitär regierte, aber multiethnisch, multinational und multinationalreligiös strukturierte Sowje-

<sup>47</sup> Manutscharjan, Aschot: Das Regierungs- und Parteiensystem Armeniens, in: Mangott, Gerhard (Hrsg.): Brennpunkt Südkaukasus, Wien 1999, S. 18–60 (20 f.).





Abbildung 5: Hellgrau: Armenisch besetztes Gebiet Aserbaidschans; dunkelgrau: Bergkarabach.<sup>48</sup>

tunion unterlag einem sich seit 1988 beschleunigenden Desintegrationsprozess. Neben dem Baltikum gehörte Armenien zu den Vorreitern und Antriebskräften des Prozesses, und zwar durch die 1986/1987 entstandene armenische Nationalbewegung, die entschieden für eine Vereinigung des 1921/1923 in die Sowjetrepublik Aserbaidtschan eingegliederten „Autonomen Gebietes Berg-Karabach“ mit der Sowjetrepublik Armenien eintrat, kurz: die „Karabach-Bewegung“. Das Gebiet von Berg-Karabach war 1989 zu ca. 75% von Armeniern bewohnt. Von der armenischen Sowjetrepublik war es nur durch einen schmalen Gebietsstreifen („Lachin“) und nordwestlich davon durch eine ursprünglich nur von Kurden dünn besiedelte Hochgebirgsregion getrennt<sup>49</sup>.

Wie die Karte schon bei einem flüchtigen Blick vermuten lässt, hat der Karabach-Konflikt seine Hauptursache in falsch gezogenen Grenzen. Das trifft auch zu. Denn obwohl Karabach in den 1920er Jahren sogar zu über 90% von Armeniern besiedelt war und zur benachbarten Republik Armenien ein ununterbrochener

<sup>48</sup> Quelle: Wikimedia Commons ([https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cd/Nagorno-Karabakh\\_Occupation\\_Map.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cd/Nagorno-Karabakh_Occupation_Map.jpg).)

<sup>49</sup> Auch südlich von Lachin und vom Gebiet Berg-Karabach („Tal-Karabach“) hatten bei der Bildung des Autonomen Gebiets zu Anfang der 1920er Jahre noch viele Armenier gewohnt.

armenischer Siedlungszusammenhang bestand, entschied die Führung der Kommunistischen Partei Sowjetrusslands (RKP[b]), die mit dem Instrument der Roten Armee damals schon, d. h. noch vor Gründung der UdSSR (30.12.1922), den Transkaukasus beherrschte, Berg-Karabach<sup>50</sup> mit dem Status eines Autonomen Gebiets der Sowjetrepublik Aserbaidschan zuzuschlagen<sup>51</sup>. Die am 5. Juli 1921 getroffene Entscheidung war maßgebend von Stalin unter massivem türkischen Druck herbeigeführt worden.

Das armenische Volk hat sich mit der Entscheidung, die allzu offenkundig dem von Lenin und den Bolschewiki in der Oktoberrevolution feierlich verkündeten Selbstbestimmungsrecht der Völker widersprach, niemals abgefunden. Immer wieder gab es, selbst während der despotischen Herrschaft Stalins, auch von Seiten der KP-Führung Sowjetarmeniens Proteste und Petitionen, die eine Korrektur der Entscheidung verlangten. Sie prallten jedoch an der sowjetischen Partei- und Staatsführung ab. Auch die „Karabach-Bewegung“ stieß mit ihrer Forderung nach Vereinigung des Gebiets mit der armenischen Sowjetrepublik in Moskau auf taube Ohren. In einer Hinsicht aber hatte die Bewegung einen durchschlagenden Erfolg: sie bewirkte 1990 im Zusammenhang mit den Parlamentswahlen den Sturz des KP-Regimes in Armenien und übernahm die Macht in Erevan<sup>52</sup>. „Karabach“ ist seither für das armenische Volk weltweit ein politisches Symbol, und zwar in doppelter Hinsicht:

1. für den Zerfall und Untergang der UdSSR, den die „Karabach-Bewegung“ eingeleitet hat, noch mehr aber
2. für die Sehnsucht der Armenier, frei und gesichert in einem eigenen, unabhängigen Nationalstaat mit in ethnischer Hinsicht gerechten Grenzen zu leben.

Die nun in der Republik Armenien zur Herrschaft gelangte nationalarmenische, nichtkommunistische Regierung stand vor gigantischen Schwierigkeiten. Es waren nicht nur politische, sondern nicht weniger auch wirtschaftliche Probleme. Die kleine, am südlichen Rand der Sowjetunion liegende, weithin gebirgige, aber kaum über Rohstoffe verfügende Republik Armenien war in der Sowjet-Ära industrialisiert worden und vollkommen in die sowjetische Zentralverwaltungswirtschaft integriert, ohne die Berechtigung zu haben, selbständig über Außenhandelsbeziehungen verfügen zu können. Dennoch hatte Armenien von der Integration in den sowjetischen „Wirtschaftskreislauf“ erheblich profitiert.

<sup>50</sup> Berg-Karabach war nur ein Teil Karabachs, zu dem damals auch die sich nach Süden, zum Grenzfluss Arax und nach Osten bis zum Fluss Kura erstreckenden Steppengebiete gehörten.

<sup>51</sup> Ausführlich dazu Luchterhandt, Otto: Berg-Karabachs Selbstbestimmungsrecht: Begründung und praktische Folgerungen, in: Soghomonyan, Vahram (Hrsg.): Lösungsansätze für Berg-Karabach-Arzach, Baden-Baden 2010, S. 11–77 (19 ff.).

<sup>52</sup> Manutscharjan, Das Regierungs- und Parteiensystem Armeniens (Anm. 47), S. 22f.

Der armenischen Wirtschaft wurde ein schwerer Schlag versetzt, als das Land im Dezember 1988 von einem starken Erdbeben erschüttert wurde, das Teile der Industrie und der Infrastruktur im Nordwesten der Republik zerstörte und weit über eine halbe Million Bürger obdachlos machte. Viele von ihnen wanderten damals aus und gingen nach Russland und in die Ukraine oder nach Europa und in die USA. Erdbebenhilfe erhielt Armenien von der sowjetischen Zentralregierung nicht, weil es just zu dieser Zeit wegen des sich im Jahre 1988 erstmals offen zuspitzenden politischen Streites über den Status des Autonomen Gebiets von Berg-Karabach zu einem heftigen Konflikt zwischen Erevan und Moskau kam. Trotz der schwierigen Lage gab die Republik Armenien in ihm jedoch nicht nach. Mehr als das: nur wenig später als die baltischen Unionsrepubliken nahm sie 1990, wie schon bemerkt, Kurs auf die Erringung der staatlichen Unabhängigkeit.

Noch schwerer wogen die Folgen, die der vom politischen Desintegrationsprozess des Landes beschleunigte Zusammenbruch des extrem zentralistischen planwirtschaftlichen Systems der Sowjetunion mit sich brachte, jenes arbeitsteiligen Komplexes, in den Sowjetarmenien als Industrie- und Hochtechnologie-Region eingefügt war<sup>53</sup>. Die sozialistischen Großunternehmen, Kombinate und Betriebe verloren nun ihre Subventionen, Aufträge und Warenlieferungen und standen still. Nicht weniger einschneidend war die noch zur Sowjetzeit einsetzende Blockade der Energieversorgung der Republik. Der Karabach-Konflikt führte nämlich dazu, dass der Wirtschaftsaustausch und Eisenbahnverkehr mit Aserbaidschan zum Erliegen kam und die Türkei aus national-politischer Solidarität mit der aserbaidshanischen Regierung ihre Grenzen zu Armenien schloss.

Die Republik Armenien befand sich damals aber in einer noch darüber hinaus gehenden Isolierung, denn de facto erstreckte sich die Blockade auch auf die Grenze zu Georgien, weil die Nachbarrepublik damals wiederholt in Bürgerkrieg und Chaos versank, die von Russland über Georgien nach Armenien führende Gasleitung aber immer wieder unterbrochen wurde, weil sie durch das südlich von Tiflis gelegene, kompakt von der aserbaidshanischen Minderheit bewohnte Gebiet verlief und dort Opfer von Anschlägen wurde. Lediglich mit dem Iran war der Wirtschaftsverkehr in politischer Hinsicht problemlos. In praktischer Hinsicht galt das nicht, denn die Fernstraße von Erevan zur persischen Grenze war weit und schlecht. Sie verlief über sieben, teilweise hoch gelegene, im Winter gefährdete Pässe, und über den Arax, den Grenzfluss zu Persien, führte nur eine Ponton-Brücke, und das noch viele Jahre.

---

<sup>53</sup> Vertlib, Vladimir: Die wirtschaftliche Dimension des Kaukasus, in: Mangott, Brennpunkt Südkaukasus (Anm. 44), S. 139–231 (166 ff.).



Abbildung 6: Karte von Armenien

Der Alltag der Menschen in der Republik Armenien war damals äußerst schwierig und entsagungsvoll. Es ging um das nackte Überleben. Besonders schlimm waren die Wintermonate, die in dem gebirgigen Land in der Regel streng sind und es Anfang der 1990er Jahre auch waren. Die Einwohner der Hauptstadt Erevan, wo ein gutes Drittel der Bevölkerung lebt(e), begannen in ihrer Not die Bäume von Alleen und Parks abzuholzen und zu verfeuern. Die Stadt war ohne Strom; nur die allerwichtigsten Einrichtungen wurden, meist nur für wenige Stunden, versorgt<sup>54</sup>.

Die wirtschaftliche Lage der Republik und mit ihr der Alltag ihrer Bürger begannen sich erst in der zweiten Hälfte der 1990er Jahre etwas zu entspannen, als

<sup>54</sup> Licht gab es im November 1993, als sich der Verfasser zur Verfassungsberatung erstmals in Erevan aufhielt, nur in einem einzigen Hotel („Razdan“), weil darin die deutsche und die französische Botschaft untergebracht waren und nebenan die Botschaft Russlands lag, und warmes Wasser auf dem Zimmer nur von 20 bis 24 Uhr. Bei 9 Grad Zimmertemperatur arbeiteten der Verfasser und sein armenischer Partner, Professor Nazarian, in dicke Mäntel gehüllt, an dem Entwurf der parlamentarischen Opposition für die erste Verfassung der nun unabhängig gewordenen Republik Armenien.



Abbildung 7: Armeniens Hauptstadt Erevan vor dem Doppelgipfel des Ararat-Massivs (5165 m) im Winter

einer der beiden Blöcke des 36 km westlich von Erevan gelegenen Atomkraftwerks Medsamor wieder an das Netz ging (November 1995)<sup>55</sup>. Das AKW war 1989 auf Druck der USA wegen des Erdbebens abgeschaltet, nun aber mit russischer Hilfe teilweise wieder in Stand gesetzt worden. Ferner begann sich die wirtschaftliche Lage jetzt auch dadurch zu verbessern, dass die 1992 rechtlich vollzogene Privatisierung von Grund und Boden zunehmend belebende Wirkungen insbesondere auch in der Landwirtschaft entfaltete, wodurch die Versorgung mit einheimischen Lebensmitteln nachhaltig gestärkt wurde.

Ganz entscheidend trugen zur Verbesserung der Lebensverhältnisse aber die starke finanzielle Unterstützung von Seiten reicher Diaspora-Armenier, vor allem aus den USA, sowie die Geldüberweisungen bei, welche die nach Hunderttausenden zählenden armenischen Arbeitsmigranten aus Russland und der Ukraine in ihre Heimat transferierten. Dazu kam die mannigfache sonstige private Unterstützung von Seiten einer zahlreichen, meist wohlhabenden Verwandtschaft aus dem westlichen Ausland.

---

<sup>55</sup> Es hatte Druckwasser-Reaktoren des sowjetischen Typs WWER-440/270.

## **b. Die Lasten des Karabach-Konfliktes und des Unabhängigkeitskrieges (1989–1994)**

Die schwerste Belastung, welche die Republik Armenien noch vor ihrer Unabhängigkeitserklärung zu tragen hatte und welche sie bis zum heutigen Tage begleitet, war und ist der Karabach-Konflikt. Er hat vielfältige, unmittelbare und mittelbare Auswirkungen auf sämtliche Lebensbereiche des Landes und seiner Bürger, in politischer, wirtschaftlicher, finanzieller und sozialer Hinsicht. Der Konflikt entwickelte sich 1990/1991 schleichend zu einem Krieg um die Unabhängigkeit Berg-Karabachs von der Sowjetrepublik Aserbaidschan, nachdem die aserbaidshanische Führung die vom Gebietsparlament Karabachs 1988 erhobene Forderung nach Anschluss an die Sowjetrepublik Armenien mit inszenierten antiarmenischen Pogromen in mehreren Großstädten des Landes (Sumgait, Baku und Gjäzä u.a.) und weiteren Verfolgungen beantwortet hatte und es zu chaotischen Flüchtlingsbewegungen, einerseits der ca. 350.000 Armenier (außerhalb Berg-Karabachs) aus Aserbaidschan und andererseits der ca. 160.000 Azeris aus der Republik Armenien gekommen war<sup>56</sup>. Kriegsparteien waren nicht Aserbaidschan und Armenien, sondern Aserbaidschan und die Armenier des Gebiets Berg-Karabach, die am 2. September 1991 die „Republik Berg-Karabach/Arcach“ ausgerufen hatten<sup>57</sup>. Involviert war in den Konflikt und Krieg auch die Republik Armenien, aber nicht mit militärischen Operationen, wozu sie in jener Zeit großer innerer Schwäche gar nicht in der Lage war, sondern durch von ihr organisierte Unterstützung mit Freiwilligenverbänden.

Die heiße Phase des Karabach-Krieges setzte Ende 1991 ein, als die Sowjetunion sich endgültig auflöste, die „Gemeinschaft Unabhängiger Staaten (GUS)“ gegründet wurde (8./21.12.1991) und die im Transkaukasus dislozierten Waffen

<sup>56</sup> Die Literatur zum Karabach-Konflikt ist breit, aber sehr verstreut und stark von – offenen und verdeckten – Parteinahmen der Autoren für die aserbaidshanische oder die armenische Seite beeinflusst. Eine um Objektivität bemühte, wissenschaftliche Gesamtdarstellung des Konflikts und Krieges, die alle Facetten einbezieht, wäre deswegen höchst wünschenswert, fehlt aber und ist auch nicht in Sicht. Die Ansprüche an ein solches Werk erfüllt nicht das Buch von Thomas de Waal [Black Garden. Armenia and Azerbaijan through Peace and War, New York/ London 2003; russische Ausgabe: Černyj sad, Moskau 2005], obwohl viele Autoren, die ihn zitieren, das zu meinen scheinen. Sie übersehen, dass de Waal, trotz zahlreicher Anmerkungen, den Stoff journalistisch und nicht wissenschaftlich behandelt, daher zufälligen Interviews „auf der Straße“ Beleg- und Beweiskraft zumisst, wesentliche Fragen mangels Kompetenz, z. B. die rechtlichen Dimensionen, unzureichend oder schief darstellt oder überhaupt ausblendet, dass aber vor allem sein Standpunkt der Äquidistanz gegenüber den Konfliktparteien nur Schein ist. Tatsächlich unterstützt de Waal in wesentlichen Punkten – vermutlich aus taktischen Gründen, um auch weiterhin auf „offene Türen“ in Baku rechnen zu können – die Positionen Aserbaidschans, denn als Journalist ist de Waal darauf existentiell angewiesen. Treffend die Kritik von Kazinjan, Aris: Poligon 'Azerbajdžan' (Truppenübungsplatz „Aserbaidschan“), Erevan 2011, S. 9 ff. Einen knappen Überblick über den Konflikt- und Kriegsverlauf liefert Hofmann, Annäherung an Armenien (Anm. 3), S. 149 ff.).

<sup>57</sup> „Arcach“ war der Name, den Region Karabach im antiken armenischen Großreich getragen hatte.



der Sowjetarmee, proportional, unter Aserbaidshan, Georgien und Armenien aufgeteilt wurden. Als die kleinste der drei Ex-Unionsrepubliken erhielt Armenien den geringsten Anteil, Aserbaidshan dagegen die meisten Waffen, insbesondere auch Flugzeuge. Berg-Karabach ging leer aus, weil das „Gebiet“ nicht den Status einer Unionsrepublik besaß.

Unter den gegebenen Umständen hätte die Republik Aserbaidshan kraft der ihr mit einem Schlage zugefallenen großen militärischen Überlegenheit unter Einschluss der Lufthoheit (!) den beginnenden Krieg eigentlich binnen kurzer Zeit gewinnen müssen. Überraschenderweise geschah das jedoch nicht. Vielmehr waren es die Armenier, die den Sieg davontrugen. Im Mai 1992 gelang es ihnen, die Stadt Schuscha (armen. Schuschi)<sup>58</sup>, das Zentrum der in Karabach lebenden aserbaidshanischen Minderheit, zu erobern und die damals einzige Straßenverbindung Berg-Karabachs zur Republik Armenien unter ihre Kontrolle zu bekommen. 1993 erlebte die armenische Seite zunächst einige herbe Rückschläge, konnte aber insbesondere dank dem in Aserbaidshan ausgebrochenen Kampf um die Macht in Baku und dem dadurch ausgelösten Chaos in der militärischen Führung wieder die Oberhand gewinnen, weite Gebiete Aserbaidshans westlich, südlich und östlich von Berg-Karabach erobern<sup>59</sup> und Aserbaidshan zwingen, in unmittelbare Verhandlungen mit der Armeeführung der Republik Berg-Karabach/Arcach über einen Waffenstillstand einzutreten. Der Waffenstillstand kam dank der intensiven Bemühungen Russlands und namentlich seines damaligen KSZE-Chefdiplomaten, Vladimir Nikolaevič Kazimirov, zustande<sup>60</sup>. Aufgrund eines von der Interparlamentarischen Versammlung der GUS-Staaten am 5. Mai 1994 in Kirgisiens Hauptstadt Bischkek verabschiedeten „Protokolls“ unterzeichneten Armenien, Aserbaidshan und Arcach am 9., 10. und 11. Mai 1994 an getrennten Orten eine unbefristete Waffenstillstandsvereinbarung. Sie trat am 12. Mai 1994 in Kraft. Die dreiseitige Vereinbarung ist ein vollwertiger völkerrechtlicher Vertrag im Sinne der Wiener Vertragsrechtskonvention vom 23. Mai 1969<sup>61</sup>.

<sup>58</sup> Schuscha/ Schuschi, die alte Hauptstadt des Khanats Karabach, liegt auf einem Felsen hoch über Stepanakert, der Hauptstadt des Autonomen Gebiets Berg-Karabach seit 1923. Bis zur Eroberung im Mai 1992 lag Stepanakert unter Dauerbeschuss aus Schuscha, wo sich große Waffenbestände befanden und wo die sich damals aus Freiwilligenverbänden und Zivilisten formierenden Streitkräfte Aserbaidshans ihren Schwerpunkt in Karabach hatten.

<sup>59</sup> Siehe dazu die Kartenskizze oben auf S. 16.

<sup>60</sup> Kazimirov hat seine Vermittlungstätigkeit ausführlich monographisch dargestellt. Siehe derselbe: *Mir Karabachu. Posredničestvo Rossii v uregulirovanii nagorno-karabachskogo konflikta* [Frieden für Karabach. Die Vermittlung Russlands bei der Regelung des Berg-Karabach-Konflikts], Moskau 2009, S. 153 ff.; kritisch zur Vermittlungsrolle Russlands und dessen Erfolg: Dehdashti, Rexane: *Internationale Organisationen als Vermittler in innerstaatlichen Konflikten. Die OSZE und der Berg-Karabach-Konflikt*, Frankfurt/M-New York 2000, S. 225 ff. Die Autorin kannte die Darstellung Kazimirovs nicht. Ihre Arbeit ist, wesentlich bedingt schon durch die politologische Themenstellung, ganz einseitig auf die Rolle der KSZE/OSZE fixiert.

<sup>61</sup> Text der Dreiseitigen Vereinbarung bei Kazimirov, *Mir Karabachu*, a.a.O. S. 346 f.

Was hat den Sieg der armenischen Streitkräfte ermöglicht? Fünf Hauptgründe lassen sich ausmachen:

1. Seit 1990 kämpften in Aserbaidshan verschiedene regionale Klan-Gruppen um die Macht in Baku. Die inneren Machtkämpfe führten auf der aserbaidshanischen Seite in entscheidenden Phasen und Momenten des Krieges immer wieder zu Befehlswirrwarr und Chaos an der Front. Die armenischen Streitkräfte verstanden es, diese Situationen zum eigenen Vorteil auszunutzen.
2. Die aserbaidshanischen Soldaten stellten eher eine Soldateska dar als schlagkräftige militärische Verbände. Sie waren schlecht ausgerüstet, trotz ihres tief sitzenden Hasses gegenüber „den Armeniern“ nur schwach motiviert und hinsichtlich der rivalisierenden Machtgruppen an der Spitze der Republik politisch gespalten und desorientiert.
3. Die Armenier kämpften auf dem heimatlichen Boden Karabachs um das nackte Überleben. Sie sahen sich existentiell bedroht und waren sich dessen bewusst, dass sie im Falle der Niederlage nicht nur ihre faktische Unabhängigkeit von Baku, sondern auch ihre armenische Heimat Arcach überhaupt für immer verlieren würden, sei es durch die Flucht oder den Tod.
4. Die Karabach-Armenier waren die besseren Kämpfer: Sie verstanden es insbesondere, die von den Aserbaidshanern in beträchtlicher Menge erbeuteten Waffen wieder funktionstüchtig zu machen, sie in dem ihnen völlig vertrauten Gelände optimal einzusetzen und ihr anfängliches Defizit an Waffen erfolgreich zu kompensieren. Bis 1993 gelang es ihnen, beinahe aus dem Nichts eine schlagkräftige, hochmotivierte Armee von ca. 20.000 Soldaten aufzustellen.
5. Die Karabach-Armenier wurden von außen unterstützt, am wirkungsvollsten aus der armenischen Diaspora. Die Republik Armenien konnte wegen ihrer wirtschaftlichen Schwäche, ihrer großen inneren Strukturprobleme und wegen des Umstandes, dass es aus der Republik keine Flugverbindung, sondern nur eine einzige Landstraße nach Karabach gab, nur sehr begrenzt Hilfe leisten. Zudem befand sich die Straße in einem miserablen Zustand. Sie führte über mehrere Pässe. Die Fahrzeit von Erevan nach Stepanakert kostete damals deswegen fast 10 Stunden. Von Russland erhielt die Karabach-Armee keine Unterstützung; schlimmer noch: russische Piloten der aufgelösten Sowjetstreitkräfte arbeiteten auf Vertragsbasis für die aserbaidshanische Luftwaffe. Russland war in jenen Jahren im Übrigen zu sehr mit sich selbst



beschäftigt<sup>62</sup> und außerdem zu sehr in die permanenten Unruhen im Nordkaukasus verstrickt, um auch noch im Südkaukasus militärisch einzugreifen.

### III.Armeniens Streben nach Stabilität und Sicherheit

Der Karabach-Konflikt ist durch den Waffenstillstand von 1994 einer Lösung nicht nähergebracht, geschweige denn gelöst worden. Er belastet weiterhin nicht nur die gesamte politische Landkarte im Südkaukasus, sondern er hat nach wie vor beträchtliche negative Auswirkungen auch auf die inneren, besonders die wirtschaftlichen und sozialen Verhältnisse in der Republik Armenien.

Aserbaidschan hat seine hohen Einnahmen aus dem Öl- und Gasgeschäft in den letzten Jahren dazu verwendet, militärisch massiv aufzurüsten, und in größtem Stile modernste Waffen gekauft<sup>63</sup>. Aserbaidschans „Verteidigungshaushalt“ übersteigt denjenigen der Republik Armenien mindestens um das Achtfache<sup>64</sup>. Armenien ist finanziell bei weitem zu schwach, um in einen Rüstungswettlauf mit Aserbaidschan einzutreten. Gleichwohl sieht es sich seit Jahren im Interesse der Sicherheit Berg-Karabachs, damit aber auch seiner eigenen Sicherheit gezwungen, mehr Geld in die Rüstung zu stecken, als es sich wirtschaftlich eigentlich leisten kann. Zwar erhielt und erhält Armenien von Russland aufgrund von Absprachen im GUS-Militärpakt ODKB Waffen zu Vorzugspreisen, aber die Sicherheit Armeniens ist mehr denn je davon Abhängig, dass Russland sich auf seine Seite stellt, wenn Aserbaidschan einen Blitzkrieg gegen Karabach führen sollte, denn ein solcher Krieg würde sich wegen der Integration der Streitkräfte Karabachs und Armeniens zwangsläufig auch gegen die Republik Armenien richten. Wie bedrohlich inzwischen die Lage an der sogenannten Kontaktlinie zwischen Karabach und Aserbaidschan, aber auch an der armenisch-aserbaidschanischen Grenze geworden ist, konnte die Weltöffentlichkeit seit dem Herbst

<sup>62</sup> Im Sommer 1993 spitzte sich der Machtkampf in Moskau zwischen der Präsidialexekutive Jelzins und der von Kommunisten und Nationalisten beherrschten Legislative zu und wurde Anfang Oktober von Jelzin in Moskau mit Waffengewalt entschieden. Es folgten die Auseinandersetzung um die Verfassung (21.12.1993), die Parlamentswahlen und 1994 die Neuformierung der Verfassungsorgane. Zu diesem Zeitpunkt hatte sich Tschetschenien de facto bereits von Russland abgespalten.

<sup>63</sup> Smolik, Franziska/ Halbach, Uwe: Der Konflikt um Berg-Karabach im Lichte der Krise um die Ukraine, in: Fischer, Sabine (Hrsg.): Nicht eingefroren! Die ungelösten Konflikte um Transnistrien, Abchasien, Südossetien und Berg-Karabach im Lichte der Krise um die Ukraine, Berlin 2016, S. 67–88 (73f.)

<sup>64</sup> Kramnik, Ilja/ Bogdanov, Konstantin: Armii <Černogo sada>. Čto Armenija i Azerbajdžan mogut vystavit' na pole boja? [Die Armeen des "Schwarzen Gartens". Was können Armenien und Aserbaidschan auf das Feld des Kampfes stellen?], in: <https://lenta.ru/articles/2016/04/04/wartime/>. (Lenta.ru ist ein seriöser russischer online-Nachrichtendienst); Smolik/ Halbach, a.a.O. m. w. N.

2014 beobachten, denn seither ist kaum ein Tag vergangen, an welchem an der „Kontaktlinie“ nicht geschossen wurde und Scharmützel stattfanden<sup>65</sup>.

Die Durchlöcherung des Waffenstillstandsabkommens erreichte im vergangenen Jahr 2015 eine neue Qualität, als von aserbaidischen Seite erstmals schwere Waffen, Panzer, Mörser usw. eingesetzt wurden. Der aserbaidische Präsident Ilham Aliyev begleitet die Vorgänge seit Jahren mit scharfen Reden und massiven Drohungen an die armenische Adresse<sup>66</sup>. Armenien vermeidet es bewusst, mit gleicher Münze heimzuzahlen, weil das Waffenstillstandsabkommen vom 12. Mai 1994 dann für alle Welt offenkundig nur noch Makulatur wäre und man Aserbaidschan den von ihm vielleicht begehrten Vorwand liefern würde, den Krieg um Karabach, jetzt mit stark überlegenen Waffen, doch noch zu gewinnen. Die Lage im Südkaukasus ist inzwischen brandgefährlich. Umso erstaunlicher ist es, wie wenig die internationale Politik und namentlich die Staaten, die in der sogenannten „Minsk-Gruppe“ der OSZE offiziell als „Ko-Vorsitzende“ der Gruppe mit dem Karabach-Konflikt befasst sind, nämlich die USA, Frankreich und Russland, auf die permanente, offenkundig von Aserbaidschan ausgehende provozierende Verletzung des Waffenstillstandsabkommens von 1994 reagieren. Im Schatten anderer, heißer Konflikte in der Region scheint man den Karabach-Konflikt vergessen zu haben.

Bis in die jüngste Zeit war es üblich, von „eingefrorenen Konflikten“ zu sprechen, wozu man Transnistrien im Falle der Moldau-Republik, die Regionen Abchasien und Südossetien im Falle Georgiens und eben auch Berg-Karabach zählte. Aber diese Redeweise vermittelt ein falsches Bild und ein gefährliches dazu, denn die Konflikte waren bzw. sind keineswegs eingefroren und schon gar nicht tiefgefroren; sie sind vielmehr Schwelbrände, aus denen jederzeit hohe Flammen schlagen können<sup>67</sup>. Der Georgienkrieg vom August 2008 hat das der Welt vor Augen geführt. Er hätte eigentlich Initiativen zur Entschärfung des Karabach-Konfliktes freisetzen müssen. Doch nichts ist geschehen! Eine in Brüssel ansässige armenisch-europäische Organisation hat im Jahre 2013 ein Buch mit

<sup>65</sup> Vesper, Reinhard: Karabach-Konflikt. Schüsse an der Grenze, in: Faznet vom 20.3.2015 (<http://www.faz.net/aktuell/politik/ausland/europa/kaempfe-im-konflikt-um-nagornyj-karabach-13496486.html>.)

<sup>66</sup> Nachweise bei Luchterhandt, Otto: Der Berg-Karabach-Konflikt und seine Eindämmung durch Gewaltverzicht, in: Armenisch-Deutsche Korrespondenz (ADK) Jg. 2010, Heft 4, S. 2–4; Internetausgabe: <http://www.deutscharmenischegesellschaft.de/wp-content/uploads/2010/12>.

<sup>67</sup> Fischer, Sabine Hrsg.): Nicht eingefroren! Die ungelösten Konflikte um Transnistrien, Abchasien, Südossetien und Berg-Karabach im Lichte der Krise um die Ukraine, Berlin 2016; Diese Irredenta sind mit den sogenannten De-Facto-Staaten in Europa identisch. Zu ihnen grundsätzlich Luchterhandt, Otto: Die de-facto-Staaten in Europa. Ärgernis oder Vorboten der Veränderung? In: Stratenschulte, Eckart D. (Hrsg.): Heilsame Vielfalt? Formen differenzierter Integration in Europa, Baden-Baden 2014, S. 275–295; aus spezifischer völkerrechtlicher Sicht der Problematik siehe: Walter, Christian/ Ungern-Sternberg, Antje von/ Abushov, Kavus (Eds.): Self-Determination and Secession in International Law, Oxford 2014.

dem sarkastischen Titel „Europe`s Next Avoidable War“. Nagorno-Karabakh“ herausgebracht<sup>68</sup>. Die Autoren haben Vorschläge dafür gemacht, wie man einen neuerlichen Gewaltausbruch verhindern könne<sup>69</sup>. Die Initiative ist wirkungslos geblieben.

Die schweren Lasten aus dem ungelösten Karabach-Konflikt machen es der Republik Armenien praktisch unmöglich, die wirtschaftlichen und sozialen Verhältnisse des Landes durchgreifend zu verbessern und den Wohlstand der breiten Bevölkerung nachhaltig anzuheben. Dieser Zustand erhöht die Frustration der Bürger und fördert bei vielen, insbesondere jungen, qualifizierten Leuten die Bereitschaft, das Land zu verlassen und sich anderswo ein besseres Leben zu suchen. Ihre weltweiten, meist verwandtschaftlich begründeten Netzwerke haben es den Armeniern schon immer erleichtert, in andere, reichere Länder zu emigrieren. Das Problem ist seit einigen Jahren hochaktuell in Armenien. Ein im Januar 2013 veröffentlichter Bericht bringt alarmierende Zahlen<sup>70</sup>. So haben von den 3,3 Mio. Einwohnern, die 1989 in der Sowjetrepublik Armenien ausweislich der letzten Volkszählung der UdSSR lebten, bis 2010 ca. 900.000 das Land verlassen. In den letzten Jahren hat sich die Emigration aus sozio-ökonomischen Gründen erneut beschleunigt und weist jährlich eine fünfstellige Zahl auf. Das Land blutet aus. Die politische Führung Armeniens ist sich der Gefahr bewusst, die der Republik von dem schleichenden Exodus droht. Die von ihr 2013 initiierte Verfassungsreform, die den Charakter einer Totalrevision der politischen Grundordnung des Staates hat, zielt auch darauf ab, die weite Distanz zwischen der politischen Führung des Landes und den Bürgern zu verringern<sup>71</sup>. Diese Distanz war bisher für die Verfassungsordnung und das politische System Armeniens typisch. Das System wurde völlig vom Staatspräsidenten beherrscht, der nicht nur die Exekutive, sondern auch das Parlament über die von ihm beherrschte Partei steuerte<sup>72</sup>. Dieses System ist steril und hat sich längst überlebt,

<sup>68</sup> Kambeck, Michael/Ghazaryan, Sargis (ed.): Europe`s Next Avoidable War“. Nagorno-Karabakh, London 2013.

<sup>69</sup> Mehrere der 21 Autoren hatten Anregungen gegeben, darunter auch der Verfasser. Siehe Luchterhandt, Otto: Learning from Georgia: A Non-Use-of-Force Treaty for Nagorno-Karabakh, in: Kambeck/Ghazaryan, a.a.O. S. 211–219.

<sup>70</sup> Barsoumian, Nanore: To Greener Shores: A detailed Report on Emigration from Armenia (Januar 2013), Quelle: <http://armenianweekly.com/2013/01/22/to-greener-shores-a-detailed-report-on-emigration-from-armenia>.

<sup>71</sup> Der Verfasser hat als Rechtsberater, der in der Republik Armenien seit 1993 im Auftrage der Deutschen Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) tätig ist, zusammen mit vier weiteren deutschen Staatsrechtslehrern sowie einem Strafrechtslehrer die Verfassungsreform von Anfang an als Gutachter begleitet. Die deutsche Beratung hat deutliche Spuren hinterlassen.

<sup>72</sup> Ausführlich zur Verfassung der Republik Armenien vom 5.7.1995 Luchterhandt, Otto: Präzidentialisismus in den GUS-Staaten, in: derselbe (Hrsg.): Neue Regierungssysteme in Osteuropa und der GUS. Probleme der Ausbildung stabiler Machtinstitutionen, 2. Auflage, Berlin 2002, S. 255–371 (336–348).

denn es eröffnet der in Armenien – ähnlich wie in Georgien – sehr lebendigen Zivilgesellschaft und den politischen Parteien allzu wenig Raum für Einfluss und Mitsprache, mit der Folge, dass auch das Parlament nur ein schwaches Profil hat, geringes Vertrauen und Autorität genießt. Die Verfassungsrevision, die am 7. Dezember 2015 vom Volk durch Referendum mit einer knappen Zwei-Drittel-Mehrheit verabschiedet worden ist, zielt darauf ab, diese versteinerten Strukturen zu ändern und das politische System zu öffnen und zu dynamisieren<sup>73</sup>. Eingeführt wurde durch die Verfassungsrevision das Parlamentarische Regierungssystem in einer reinen Form: Abgeschafft wurde nicht nur die Direktwahl des Staatspräsidenten, sondern dieser verliert auch nahezu alle ihm bislang zustehenden politischen Machtbefugnisse. Die Richtlinien der Innen- und auch der Außenpolitik bestimmt von nun an der vom Parlament gewählte Ministerpräsident, den der Staatspräsident nicht ablehnen kann, sondern ernennen muss. Der Regierungschef ist nun auch Oberbefehlshaber der Streitkräfte.

Das Parlament, die Nationalversammlung, spielt die entscheidende Rolle bei der Kreation der anderen Verfassungs- und Staatsorgane, so des Verfassungsgerichts, des Generalstaatsanwalts und der Zentralbank. Es bedarf künftig in allen diesen Fällen einer 3/5-Mehrheit aller Abgeordneten, wodurch, und das ist der erklärte Zweck der Neuregelung, die parlamentarische Minderheit, also die Opposition, erstens eine Stärkung erfährt und zweitens die Chance einer substantiellen politischen Mitsprache bekommt. Zusammen mit aktiven Teilen der Zivilgesellschaft und der – in Armenien übrigens bemerkenswert – freien Presse wird sie ihre Möglichkeiten in Zukunft wirksamer nutzen können. Es ist eine der wichtigsten Aufgaben in diesem und in den folgenden Jahren, die Neuregelungen der Verfassungsrevision durch detaillierte, konkrete Bestimmungen in nachrangigen Gesetzen auszugestalten und die neuen meines Erachtens hoffnungsvoll stimmenden Prinzipien, Institutionen, Normen und Verfahren mit Leben zu erfüllen, sie im Alltag der Bürger zu verankern und insgesamt zu einem praktischen Erfolg zu machen<sup>74</sup>.

#### **IV. Der Blitzkrieg Aserbaidschans gegen Berg-Karabach (2.–5.4.2016)**

Mit den vorangegangenen Ausführungen schloss der Verfasser in der BWG-Neujahrssitzung die Darstellung der Lage ab, in der sich die Republik Berg-Karabach/Arcach zu Beginn des Jahres 2016 befand. Er hat die Darstellung hier

<sup>73</sup> Einen ersten Überblick über die revidierte Verfassung gibt Khatschtrian, Haroutjun: Armenien hat eine neue Verfassung, in: Armenisch-Deutsche Korrespondenz (ADK) Jg. 2016, Heft 1, S. 2/3.

<sup>74</sup> Der Verfasser ist auch in diese Folgearbeit stark eingebunden. Teil dessen ist seine Mitarbeit an einem Kommentar zu der neuen Verfassung.

unverändert gelassen, weil die von ihm damals ausgesprochene Befürchtung und Erwartung, dass Aserbaidzchan in überschaubarer Zeit einen Überraschungsangriff gegen Berg-Karabach starten würde, drei Monate später eingetreten und seine besorgte Einschätzung der Lage („brandgefährlich“) vollauf bestätigt worden ist: in der Nacht vom 1. zum 2. April griffen aserbaidzschanische Truppen mit voller Kampfstärke die armenischen Stellungen koordiniert auf der gesamten „Kontaktklinie“ von der persischen Grenze am Arax im Südosten bis zur Region von Martakert im Nordosten an Karabachs (ca. 150 km) an<sup>75</sup>. Erstmals setzten die Aserbaidzschaner in großem Stil Kampf- und Beobachtungsdrohnen ein, modernste Typen aus israelischer Produktion. Eingesetzt wurden nun auch jene Waffensysteme (Panzer, Raketenwerfer, Kampfhubschrauber, elektronisch gesteuerte ballistische Mörser usw.), die Aserbaidzchan in den letzten Jahren von Russland gekauft hatte<sup>76</sup>.

Der Angriff war – zunächst – erfolgreich, nicht zuletzt deswegen, weil der Zeitpunkt geschickt gewählt war, denn er fand statt, als sich die Staatspräsidenten Armeniens und Aserbaidzchans anlässlich der UN-Generalversammlung in New York aufhielten und sich der armenische Präsident Serž Sarkisjan noch auf dem Rückflug über dem Atlantik befand. Zwar gelang es aserbaidzschanischen Spezialtruppen anfänglich, Geländegewinne im Norden bei Martakert (Dorf Talyš) und im Süden, am Arax bei Goradiz zu machen, aber am 3./4. April gelang es den Armeniern, den Angriff zu stoppen, die Drohnen auszuschalten und zum Gegenangriff überzugehen<sup>77</sup>. Dieser war so erfolgreich, dass sie die aserbaidzschanischen Verbände fast auf der gesamten Länge auf die „Kontaktklinie“ zurückwarfen<sup>78</sup>. Als Präsident İlham Aliyev sich am 5. April der Gefahr gegenüber sah, dass die armenischen Verbände die „Kontaktklinie“ überschritten und der

<sup>75</sup> Einen qualifizierten Überblick über den Kriegsverlauf sowie die Stärken und Schwächen beider Seiten gibt Petrosyan, David: Über den Vier-Tage-Krieg um Berg-Karabach, in: Armenisch-Deutsche Korrespondenz (ADK) Jg. 2016, Heft 2, S. 2–4. Siehe ferner Kolter, Christian: Die aserbaidzschanische Militäraggression gegen Arzach, in: Armenisch-Deutsche Korrespondenz (ADK) Jg. 2016, Heft 2, S. 5–8 (Teil 1); ADK Jg. 2016, Heft 3, S. 5–7 (Teil 2);

<sup>76</sup> Kramnik, Ilja/ Bogdanov, Konstantin: Armii <Černogo sada>. Čto Armenija i Azerbajdžan mogut vystavit' na pole boja? [Die Armeen des "Schwarzen Gartens". Was können Armenien und Aserbaidzchan auf das Feld des Kampfes stellen?], in: <https://lenta.ru/articles/2016/04/04/wartime/>. (Lenta.ru ist ein seriöser russischer online-Nachrichtendienst).

<sup>77</sup> Četyrechednevnaja vojna. Vooružennye stolknovenija v Nagornom Karabache (2016) [Der Vier-Tage-Krieg. Die bewaffneten Zusammenstöße in Berg-Karabach 2016] in: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%>.

<sup>78</sup> Eine Ausnahme bildete der Abschnitt bei Goradiz an der Arax-Grenze zum Iran, wo aserbaidzschanische Verbände die Höhe Lele Tepe zurückgewinnen konnten. Insgesamt konnte Aserbaidzchan durch den „Blitzkrieg“ Geländegewinne von maximal 800 ha erzielen. Angesichts des beträchtlichen Einsatzes an Mannschaften und Waffentechnik war das nur ein marginaler, aber teuer bezahlter Erfolg, der einer Niederlage gleichkommt. Zu den Hauptgründen für den Misserfolg Petrosyan, Über den Vier-Tage-Krieg (Anm. 75), S. 3 f.

zunächst erfolgreiche „Blitzkrieg“ sich in eine manifeste Niederlage Aserbaidshans zu verwandeln drohte, wandte er sich mit der dringenden Bitte an Russland, einen Waffenstillstand zu vermitteln<sup>79</sup>.

Der Waffenstillstand kam zustande. Die armenische Seite stimmte ihm eher widerstrebend zu, weil sie die Gelegenheit sah, Aserbaidshans eine Niederlage beizubringen, dem Präsidenten Alijev eine Lehre zu erteilen und damit dessen Stellung und Autorität im eigenen Lande und international zu schwächen.

Die Wahrnehmung und die Reaktionen in der Weltöffentlichkeit auf den „Blitzkrieg“ Aserbaidshans gegen Berg-Karabach sind in mehrfacher Hinsicht sonderbar. Namentlich gilt das für die Ko-Vorsitzenden der „Minsk-Gruppe“ der OSZE – Frankreich, Russland, USA –, es gilt aber auch und gerade für Deutschland, das im Jahre 2016 den Vorsitz in der OSZE innehat und daher von Aserbaidshans „Blitzkrieg“ vor eine besondere Verantwortung gestellt wurde.

Generell ist festzustellen, dass der Krieg von der Öffentlichkeit in Deutschland und wohl auch darüber hinaus in Europa kaum wahrgenommen worden ist<sup>80</sup>.

Die Tatsache, dass der „April-Krieg“ von der deutschen Öffentlichkeit kaum wahrgenommen wurde, ist allerdings nicht erstaunlich, denn erstens dauerte der Krieg nur vier Tage, von denen auch noch zwei Tage in das Wochenende fielen, und zweitens war er schon fast wieder beendet, als die Medien begannen, über das Geschehen aktuell zu berichten. Hinzukommt, dass die mit dem Karabach-Konflikt in politischer und diplomatischer Hinsicht befassten Regierungen nach Ausbruch des Krieges nicht gleichsam Alarm schlugen und offiziell öffentliche Erklärungen abgaben, sondern sich, als ob sie sich verabredet gehabt hätten, in Schweigen hüllten, an ihrem Schweigen auch noch nach der Wiederherstellung des Waffenstillstandes festhielten und sich auf politische Initiativen und Aktionen auf diplomatischen Kanälen abseits der Öffentlichkeit beschränkten<sup>81</sup>.

Mit Blick auf die Gefahren, die von dem Karabach-Konflikt seit seinem Ausbruch am Ende der 1980er Jahre wegen der involvierten Interessen über die

<sup>79</sup> Das aserbaidshansische Hilfesuch gelangte zwar über den Generalstabschef, also auf der militärischen „Schiene“, an den Kreml, aber angesichts der hohen geopolitischen Brisanz der Vorgänge im Südkaukasus und darüber hinaus wurden die Entscheidungen am 5. April selbstverständlich von den Präsidenten Aserbaidshans, Russlands und Armeniens (unter Beteiligung von Berg-Karabachs Präsident Bako Sargsjan) getroffen.

<sup>80</sup> Am frühesten und auch am ausführlichsten berichtete die Frankfurter Allgemeine Zeitung. Siehe FAZ vom 4.4. (S. 1/2), 5.4. (S. 2), 6. 4. (S. 8) und 7.4. (S. 4).

<sup>81</sup> Zu der Schweigsamkeit passt, dass nach Aserbaidshans Angriff von niemandem Kontakt zu der armenischen Seite aufgenommen wurde, nicht einmal von Seiten Russlands, obwohl Russland mit Armenien im GUS-Militärpakt verbündet ist, in Armenien Truppen stationiert hat und insbesondere die armenisch-türkische Grenze kontrolliert.

engere Region des Südkaukasus hinaus ausgehen, hat die vertrauliche Behandlung des aserbaidischen „Blitzkrieges“ eine ernst zu nehmende Folge: dadurch, dass der Krieg von den Medien fast ausgeblendet worden ist und im politischen Diskurs der Gesellschaften, Parteien und Parlamente keine Rolle spielt, ist sich die Öffentlichkeit in Deutschland und in Europa der aktuellen Gefährlichkeit und anhaltenden Brisanz der Lage im Südkaukasus nicht hinreichend bewusst.

Die Gefahren der Ignoranz werden durch die Art und Weise noch erhöht, wie sich die mit dem Karabach-Konflikt befassten Regierungen zu der Frage verhalten, wer den „April-Krieg“ angefangen hat: keine von ihnen hat eine Erklärung abgegeben, dass Aserbaidschan den Krieg begonnen hat, obwohl das ganz offensichtlich ist und die betreffenden Regierungen das aufgrund von Satelliten-Aufklärung auch definitiv wissen<sup>82</sup>. Stattdessen lässt man verlauten, man wisse nicht, welche Seite zuerst angegriffen habe. Offiziell verfolgen die betreffenden Staaten, darunter an vorderster Stelle Deutschland, eine Politik der Äquidistanz und der Neutralität gegenüber Armenien und Aserbaidschan, mahnt man beide Seiten «paritätisch» zur Einhaltung des Waffenstillstandes, zu konstruktivem Verhalten und politischer Kompromissbereitschaft. Auf den nachgeordneten «Arbeitsebenen» der Ressorts ist man sich jedoch nicht nur darüber im Klaren, dass Aserbaidschan der Angreifer war, sondern man räumt das auch ohne Weiteres ein.

Die politischen Gründe für die Scheu der betreffenden Regierungen, namentlich Deutschlands, Frankreichs, Russlands und der USA, Aserbaidschan offiziell und öffentlich als Aggressor zu bezeichnen, kann man nur vermuten, aber sie liegen auf der Hand<sup>83</sup>: würde man die Dinge bei ihrem Namen nennen, käme das einer Anklage Aserbaidschans gleich, denn erstens ist die Verletzung eines Waffenstillstandsabkommens ein Verstoß gegen das völkerrechtliche Prinzip des Gewaltverbots der UNO-Charta (Art. 2 Nr. 4)<sup>84</sup> und zweitens stellt die Verletzung dieses Prinzips unter Umständen einen „Akt der Aggression“ dar, der ein Tatbestand des Völkerstrafrechts ist. Dessen Verletzung könnte zur Anklage des aserbaidischen Staatspräsidenten beim Internationalen Strafgerichtshof in

<sup>82</sup> Treffend Petrosyan, Über den Vier-Tage-Krieg (Anm. 75), S. 2.

<sup>83</sup> Petrosyan, a.a.O.

<sup>84</sup> Die „Declaration on Principles of International Law concerning Friendly Relations and Co-operation among States in accordance with the Charter of the United Nations“ (Friendly Relations Declaration), verabschiedet durch die Resolution der UN-Generalversammlung Nr. 2625 vom 24.10.1970, konkretisiert das UN-Gewaltverbot u.a. mit der Pflicht:

“Every State likewise has the duty to refrain from the threat or use of force to violate international lines of demarcation, such as armistice lines, established by or pursuant to an international agreement to which it is a party or which it is otherwise bound to respect.” Das Dreiseitige Waffenstillstandsabkommen zu Berg-Karabach vom 12.5.1994 fällt darunter.



Den Haag führen<sup>85</sup>. Die Reaktion Aserbaidschans wäre vorprogrammiert: es würde die de facto-Anklagen als unfreundliche politische Aktionen werten und den betreffenden Staaten wahrscheinlich Nachteile bei der Versorgung mit Öl und Erdgas in Aussicht stellen. Möglicherweise würden auch die Beziehungen zur Türkei ungünstig beeinflusst, die ihr Verhältnis zu Aserbaidshan offiziell als das „eines Volkes und zweier Nationen“ bezeichnet. Offenkundig möchten die betreffenden Staaten die sich insofern ergebenden Risiken nicht eingehen. Bei der Abwägung ihrer nationalen politischen Interessen wiegen gute Beziehungen zu Aserbaidshan schwerer als die Sorge um den Frieden im Südkaukasus.

Die Behauptung, dass Aserbaidshan den April-Krieg begonnen hat, lässt sich durch eine Reihe von Indizien belegen, deren Gewicht jeden Zweifel an der Aggression Aserbaidschans ausschließt:

1. Die Kampfhandlungen wurden auf der gesamten Länge der Waffenstillstandslinie („Kontaktlinie“) eröffnet.
2. Hätten die armenischen Streitkräfte die Vorteile eines nächtlichen Angriffs zu Beginn des Wochenendes ausgenutzt, wären sie zumindest teilweise auf das von Aserbaidshan kontrollierte Territorium östlich der Kontaktlinie vorgedrungen. Es haben aber gerade umgekehrt aserbaidshanische Verbände, begünstigt durch den Überraschungseffekt, zunächst Geländegewinne erzielt und grenznahe Dörfer westlich der Kontaktlinie eingenommen.
3. Die aserbaidshanischen Verbände sind erst durch den armenischen Gegenangriff aus den okkupierten Stellungen wieder vertrieben und über die Waffenstillstandslinie zurückgedrängt worden.
4. An einem Angriff auf die aserbaidshanischen Stellungen konnte Armenien kein Interesse haben, sehr wohl aber – umgekehrt – die Republik Aserbaidshan, denn sie hat ein ganz natürliches Interesse an der Korrektur der militärischen Lage und an der Wiedergewinnung der Hoheitsgewalt über die von der armenischen Seite kontrollierten Gebiete jenseits der Kontaktlinie.

---

<sup>85</sup> Gemäß Art. 8<sup>bis</sup> des Rom-Statuts des Internationalen Strafgerichtshofes (1998), der die Verletzung des Gewaltverbots im Sinne von Art. 2 Nr. 4 UNO-Charta als „Akt der Aggression“ zum völkerrechtlichen Verbrechen erklärt, dürfte der aserbaidshanische Staatspräsident sich dieses Verbrechens schuldig gemacht haben, weil er als Oberkommandierender der Streitkräfte (Art. 9 Abs. III der Verfassung Aserbaidschans vom 12.11.1995) den Befehl zum Angriff auf den de-facto-Staat Berg-Karabach/Arcach gegeben hat. Art. 8<sup>bis</sup> Abs. 1 lautet: „Im Sinne dieses Statuts bedeutet „Verbrechen der Aggression“ die Planung, Vorbereitung, Einleitung oder Ausführung einer Angriffshandlung, die ihrer Art, ihrer Schwere und ihrem Umfang nach eine offenkundige Verletzung der Charta der Vereinten Nationen darstellt, durch eine Person, die tatsächlich in der Lage ist, das politische oder militärische Handeln eines Staates zu kontrollieren oder zu lenken.“ Art. 8<sup>bis</sup> Abs. 2 listet verschiedene konkrete Tatbestände von Aggression katalogartig auf.



Aserbaidshan hat mit seinem Blitzkrieg das Völkerrecht gebrochen, denn das allgemeine Gewaltverbot der UNO-Charta (Art. 2 Nr. 4) gilt nach ganz herrschender Völkerrechtsdoktrin auch für stabile de-facto-Staaten<sup>86</sup>. Die Republik Berg-Karabach ist ein solcher, denn sie erfüllt die vom Völkerrecht anerkannten Kriterien eines Staatswesens. Diese sind nach einhelliger Lehre<sup>87</sup>: 1. ein abgegrenztes Territorium (defined territory), 2. eine dort ansässige Bevölkerung (permanent population), 3. eine effektive politische Macht (effective government) und 4. Unabhängigkeit (independence). Letztere besitzt Berg-Karabach gegenüber Aserbaidshan vollkommen, gegenüber der Republik Armenien zwar nur begrenzt, aber absolute Unabhängigkeit kann kein de facto Staat haben, weil jeder von ihnen wegen der fehlenden internationalen Anerkennung auf eine Schutzmacht existentiell angewiesen ist. Die völkerrechtliche Anerkennung gehört nicht zu den Essentialia des völkerrechtlichen Staatsbegriffs.

Da die Republik Berg-Karabach Vertragspartner des dreiseitigen (!) Waffenstillstandsabkommens vom 12. Mai 1994 ist und Aserbaidshan sich auch Karabach gegenüber mit seiner Unterschrift zur Einhaltung des Waffenstillstands verpflichtet hat, hat Aserbaidshan das allgemeine Gewaltverbot (Art. 2 Nr. 4 UNO-Charta) verletzt. Berg-Karabach konnte sich deswegen gegenüber Aserbaidshan auf das Recht der Selbstverteidigung (Art. 51 UNO-Charta) berufen und sich gegen den Angriff militärisch verteidigen und die Republik Armenien durfte Karabach dabei militärisch unterstützen, denn Art. 51 legitimiert die Selbstverteidigung auch in kollektiver Form<sup>88</sup>. Wie in dem vergangenen „Vier-Tage-Krieg“ werden die Republiken Arcach und Armenien freilich auch in Zukunft nicht mit militärischer und nicht einmal mit politischer Unterstützung von dritter Seite rechnen können. Im Gegenteil. Die Wahrscheinlichkeit spricht dafür, dass Aserbaidshan ein weiteres Mal versuchen wird, den Karabach-Konflikt mit militärischer Gewalt zu lösen, und dass die Armenier dann wiederum auf sich selbst gestellt sein werden. Denn dadurch, dass insbesondere die mit der Behandlung des Karabach-Konflikts offiziell befassten Großmächte, namentlich Frankreich, Russland und die USA als Ko-Vorsitzende der „Minsk-Gruppe“ der OSZE, aber auch Deutschland, Großbritannien, Italien und die anderen Mit-

<sup>86</sup> Frowein, Jochen A.: Stichwort „De-Facto-Regime“, in: Encyclopedia of Public International Law [EPIL], tom I. (1992), p. 966–968.

<sup>87</sup> Crawford, James: The Creation of States in International Law, 2-nd edition, Oxford 2007, S. 37 ff.

<sup>88</sup> Art. 51 lautet: „Diese Charta beeinträchtigt im Falle eines bewaffneten Angriffs gegen ein Mitglied der Vereinten Nationen keineswegs das naturgegebene Recht zur individuellen oder kollektiven Selbstverteidigung, bis der Sicherheitsrat die zur Wahrung des Weltfriedens und der internationalen Sicherheit erforderlichen Maßnahmen getroffen hat. Maßnahmen, die ein Mitglied in Ausübung dieses Selbstverteidigungsrechts trifft, sind dem Sicherheitsrat sofort anzuzeigen; sie berühren in keiner Weise dessen auf dieser Charta beruhende Befugnis und Pflicht, jederzeit die Maßnahmen zu treffen, die er zur Wahrung oder Wiederherstellung des Weltfriedens und der internationalen Sicherheit für erforderlich hält.“

gliedstaaten der EU und des Europarates aus politischem Opportunismus über Aserbaidschans Rolle als Aggressor im „April-Krieg“ schweigen oder wahrheitswidrig behaupten, sie wüssten nicht, wer den Krieg ausgelöst habe, ermutigen sie de facto den aserbaidshanischen Präsidenten, bei einer anderen ihm günstig erscheinenden Gelegenheit, Berg-Karabach erneut mit einem Blitzkrieg zu überziehen und den Konflikt gewaltsam zu lösen. Das düstere Schicksal der armenischen Bevölkerung Ostanatoliens könnte sich dann im Südkaukasus und am Ararat wiederholen, denn das armenische Volk stünde erneut einem von Hass angetriebenen feindlichen Nachbarn allein gegenüber.

## Schlussworte zur Neujahrssitzung der BWG 2016

KLAUS GAHL

Vizepräsident der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

Sehr verehrte Damen und Herren,  
erlauben Sie mir ein kurzes Schlusswort.

Zuerst ein herzlicher Dank an Sie, lieber Herr Luchterhandt, für Ihren faszinierenden, wenngleich auch bedrückenden Vortrag. Wer denkt nicht bei dem Namen Armenien an die katastrophale Geschichte dieses europäischen Randvolkes, die so sehr in unsere Gegenwart und in die Mitte Europas hereinspielt. Das hat Ihr Vortrag sehr deutlich gemacht. Dafür herzlichen Dank!

Die jüngsten Ereignisse im Nahen und Mittleren Osten in der unmittelbaren Nachbarschaft Armeniens, die im eben vergangenen Jahr buchstäblich über uns hereingebrochen sind mit dem anhaltenden Flüchtlingsstrom, werden auf lange Jahre hin die Gestalt und die politische und ethnische wie die soziokulturelle Dynamik Europas prägen – diese Ereignisse zeigen, dass für Ganz-Europa weder eine gedankliche noch eine praktische Ausgrenzung des Geschehens dort im vorderen Orient möglich ist. Das Geschehen geht uns alle an. Die Bezeichnung Völkerwanderung nach Mitteleuropa trifft allenfalls den quantitativen Aspekt. Das Wort des Jahres 2015 „Flüchtling – Flüchtlinge“ – es sind ja je Einzelne mit ihrem persönlichen Leid *und* es sind die Hunderttausende, die aus ihrer Heimat, ihren Gemeinschaften vertrieben und die vor Hunger und Krieg geflohen sind – das Wort des Jahres „Flüchtling und Flüchtlinge“ bringt das Furchtbare, das Grauensvolle und die Unmenschlichkeit, die dahinter stecken, viel deutlicher zu Bewusstsein. Wie die beiden großen Genozide des vergangenen Jahrhunderts – der an den Armeniern und der an den Juden – unsere Welt, mindestens Europa auf Jahrzehnte hin geprägt haben, so werden die Auswirkungen des grausamen Krieges im Orient die ganze Welt auf unbestimmt lange Zeit hin prägen.

Die großherzige, menschliche Hilfsbereitschaft, das kräftezehrende Engagement von tausenden Helferinnen und Helfern mehr noch als die finanzielle Hilfe seitens des Staates setzt dem ein Zeichen des Willens zum Frieden entgegen.

Der Rückblick auf 2015 stimmt aber mit dem von mehr als 190 Staaten einmütig gefassten Beschluss der Weltklimakonferenz auch hoffnungsvoll. Zeigt er doch, dass in der weltweit gemeinsamen Verantwortung vernunftgeleitetes Handeln

möglich werden kann. Wünschen wir den Verantwortlichen den Sachverstand, die Uneigennützigkeit und das rechte Augenmaß für eine rasche konsequente Umsetzung der Beschlüsse.

Meine Damen und Herren, wenn die globalen Ereignisse den Rückblick auf das vergangene Jahr so sehr verdunkeln, dann muss unser aller Wunsch für Verständigung, Toleranz und gegenseitige Achtung und Vertrauen, für Großherzigkeit und für die Bereitschaft zum Frieden, für Klugheit und Besonnenheit umso stärker sein.

Für das persönliche Wohl wünsche ich Ihnen allen im Namen der BWG ein gutes, gesundes, kreatives und erfolgreiches Jahr und darf Sie nun in die Räume der BWG am Fallersleber Torwall zu angeregten Gesprächen und zu einem kleinen Umtrunk auf das neue Jahr herzlich einladen.

# **Bibliometrie und die Zukunft des wissenschaftlichen Publizierens\***

REINHARD F. WERNER

Institut für Theoretische Physik, Leibniz Universität Hannover  
 Appelstraße 2, D-30167 Hannover, E-Mail: Reinhard.Werner@itp.uni-hannover.de

Für uns alle gehört das wissenschaftliche Publikationssystem zu den entscheidenden Rahmenbedingungen der Tätigkeit als Wissenschaftler. Die Anpassung an dieses System ist gerade bei erfolgreichen Forschern so vollständig, dass wir uns im Alltag selten darüber Rechenschaft ablegen, wie es eigentlich gewachsen ist, und ob es seine zentralen Aufgaben zufriedenstellend erfüllt. Der verbreitete Eindruck ist daher, dass es wohl schon immer so gewesen sei, und jedenfalls nicht so leicht zu reformieren. Aber schon ein kurzer Blick zurück und erst recht ein Vergleich zwischen verschiedenen Fachkulturen zeigt, wie unterschiedlich das Publikationswesen organisiert werden kann. Dieser Vortrag dient der Reflexion darüber, und besonders über einige Züge, die geradezu kontraproduktiv geworden sind. Meine Beispiele werden aus meinem eigenen Fach, der Physik, stammen. Aber da es um allgemeine Strukturen geht, hoffe ich, dass sie auch Aussagekraft darüber hinaus haben werden, und zu fruchtbaren Diskussionen anregen können.

## **1. Funktionen des Publikationssystems**

Grundsätzlich möchte ich drei Funktionen des Publikationssystems unterscheiden. Zunächst ist es die Verbreitung und Archivierung wissenschaftlicher Information. Hieran hat vor allem die Gesellschaft ein Interesse. Gute Wissenschaft ist nicht nur eines der hauptsächlichen kulturellen Produkte moderner Gesellschaften, sondern natürlich auch die Grundlage für jeden technischen Fortschritt. Dies ist der Grund für die fast vollständige Finanzierung des Wissenschaftsbetriebs durch öffentliche Gelder, und begründet letzten Endes auch die Pflicht des Wissenschaftlers, seine Ergebnisse der Allgemeinheit zugänglich

---

\* Der Vortrag wurde am 12.02.2016 vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

zu machen. Die zweite Funktion des Publikationssystems ist die eines Mediums für die Qualifizierung von Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen. Bei allen Stellenentscheidungen, zu Beginn der Karriere und später, bei allen Entscheidungen über Fördergelder dienen die Veröffentlichungen als der entscheidende Ausweis für wissenschaftliche Qualität. Schließlich ist die dritte Funktion des Publikationssystems die eines Marktes: als Arena der kommerziellen Aktivitäten vor allem von Verlagen.

Als Schlaglicht auf diese Konstellation möchte ich von einem Zusammentreffen erzählen, das ich letztes Jahr auf einer Tagung in China erlebte. Die Organisatoren hatten Herausgeber (Editors) einiger hochrangiger Zeitschriften eingeladen, die nun einen Abend bestritten mit der Vorstellung ihrer Zeitschriften und Tipps, was man tun müsse, um dort eine Arbeit unterzukriegen. Nach dem Vortrag einer Herausgeberin von Nature meldete sich ein junger Wissenschaftler mit dem Anwurf (frei wiedergegeben): „Wer sind Sie überhaupt, und was sind Ihre Qualifikationen, die Sie berechtigen über meine Karriere zu entscheiden und darüber, was als erfolgreiche Entwicklung in der Physik gilt?“. Zunächst: Jeder im Saal konnte die Emotion verstehen, denn ein Paper in Nature kann sehr wohl den entscheidenden Unterschied für eine Karriere bedeuten (erst recht in China). Wie ich von dem jungen Kollegen später erfuhr, hatte er einen ERC-Antrag gestellt und war in der ersten Runde erfolgreich gewesen. Die einschlägige Beratungsstelle seiner Universität hatte ihm dann erklärt, dass es für die zweite Runde ohne ein paar Paper in Nature (oder ähnlichen High-Impact-Zeitschriften) für ihn leider keine Chancen gebe, weil die Panels erfahrungsgemäß hauptsächlich darauf schauten. Die Antwort der Nature-Herausgeberin war bemerkenswert klar und professionell: Nature treffe solche Entscheidungen überhaupt nicht, sondern wende nur passende Kriterien an, um eine Zeitschrift zu produzieren, die die hohen Erwartungen ihrer Leserschaft befriedigt. In der Tat ist der einzig treffende Vorwurf an dieser Stelle an die Entscheidungsgremien der Wissenschaft zu richten, die wichtige Entscheidungen zu einem erschreckenden Maß an das Editorial Office von Nature delegieren. Dabei spielt neben natürlicher Trägheit und Überlastung oft auch die Vorstellung eine Rolle, wissenschaftliche Qualität lasse sich angemessen in „objektiven“ Maßzahlen erfassen, die aus der Publikations- und Zitierstatistik destilliert werden können. Mit diesen Vorstellungen werde ich mich daher als nächstes befassen.

## 2. Bibliometrie

Für die Zwecke dieses Vortrags möchte ich unter Bibliometrie die quantitative Erfassung von Publikationen und Zitaten zum Zwecke der Beurteilung von Artikeln, Zeitschriften, Personen und Institutionen verstehen. Die Grundannahme ist einfach: Je besser ein Artikel ist, je größer seine Strahlkraft auf nachfolgende

Forschung, desto mehr wird er zitiert. Diese Daten lassen sich nun einfach erfassen und dokumentieren und werden zu einem vergleichenden Qualitätskriterium, das auch von fachfremden Wissenschaftlern und Administratoren angewendet werden kann, die dazu nichts vom Inhalt verstehen müssen.

## 2.2 Beurteilung von Artikeln

Wir müssen aber zunächst die Grundannahme hinterfragen. Das ist für jeden wissenschaftlichen Autor einfach, weil es ja wir selbst sind, die die Rohdaten durch unser Zitierverhalten produzieren. Warum also zitieren wir in unseren Arbeiten? Hier sind ein paar typische Gründe:

- Erkenntnisse anderer Forscher importieren
- Terminologie erklären und rückführen
- Hilfestellung anbieten zur Erarbeitung von Hintergründen
- Quellen der Inspiration würdigen
- Priorität einräumen
- eine These kritisieren
- gebildet erscheinen
- die Zitierstatistik eines Freundes verbessern
- einen wichtigen potentiellen Gutachter besänftigen
- die Zitate der immer wieder recycelten Einleitung übernehmen

Diese Gründe sind unterschiedlich ehrenwert, aber das Lob der zitierten Arbeit spielt eine sehr untergeordnete Rolle. Es ist also keinesfalls so, dass wir durch unser Zitierverhalten an einer Abstimmung teilnehmen, die die besten Arbeiten küren soll. So gesehen wäre es erstaunlich, wenn die Zitierstatistik tatsächlich als Qualitätsmaß taugte. Es gibt zwei einfache Tests dafür, einen persönlichen und einen sozusagen globalen.

Der persönliche ist leicht durchzuführen: Man liste einfach die zehn besten eigenen Arbeiten auf (Autoren wissen das selbst meist sehr gut) und vergleiche mit der Liste der zehn meistzitierten. Der Überlapp ist meist nicht groß. Um das am Beispiel vorzumachen, könnte ich meine meistzitierte Arbeit anführen (Phys. Rev. A 1989, 1744 Zitate nach ISI, 2868 nach Google Scholar). Als ich sie schrieb, war ich so sicher wie selten, dass niemand sie lesen würde, denn ich hatte nur eine alte Lieblingsvermutung von mir endgültig widerlegt, und die Vermutung hatte auch schon kaum jemanden interessiert. Dann aber explodierte das Gebiet der Quanteninformationstheorie und die Arbeit fand sich im Mittelpunkt des Interesses dieses Gebiets. Drei Gründe gibt es, sie zu zitieren, was

sich ja durch Nachschauen der Zitate leicht feststellen lässt. (1) Sie enthält ein grundlegendes Resultat. (2) Sie enthält erstmals einen wichtigen Grundbegriff (Verschränkung für gemischte Zustände). (3) Sie enthält, als Beweistrick, eine Klasse Zustände, die ein Kollege später freundlicherweise nach mir benannte. Nach der obigen Liste ist klar, was passiert. Zitat aus Grund (1) hätte vielleicht etwas mit Lob zu tun, aus Grund (2) vielleicht gerade noch. Aber diese beiden fallen kaum ins Gewicht. Fast alle Zitate erfolgen tatsächlich aus Grund (3). Immer wenn jemand „Werner states [xx]“ braucht, will die eckige Zitier-Klammer gleich mit. Natürlich beschwere ich mich nicht über diese Zitate, und ich zitiere genauso, wenn ich nach Kollegen benannte Konzepte benutze. Aber von diesen Zitaten ist die Zitationszahl als Kriterium völlig geblendet, und die mindestens so guten Resultate anderer Arbeiten fallen durch.

Der globale Test des Kriteriums wurde im Oktober 2014 in einem Artikel in Nature veröffentlicht [1]. Die Autoren sind Mitarbeiter von Thomson Reuters, der Firma, die mit dem Zählen der Zitate Riesenumsätze macht. Es ging um „The top 100 papers“, natürlich gemessen an der Gesamtzahl der Zitate. Die Autoren hatten sich sogar die Mühe gemacht, vorab ein paar Kandidaten aufzulisten, die man doch wohl unter diesen illustren 100 finden sollte, z.B. Watson und Crick zur Doppelhelix. Keiner der Kandidaten aber fand sich dann in der Liste nach Zitaten. Ein Blick auf die Spitzenreiter zeigt dann auch schnell, woran das liegt: Es sind sämtlich Labormethoden in Biologie und Chemie, die eben bei jeder Verwendung zitiert werden. Wiederum: Das ist in Ordnung, zeigt aber, dass Häufigkeit der Zitate völlig unfähig ist, die wahren Durchbrüche zu identifizieren. Meine Zusammenfassung des Artikels ist also „The top 100 papers are relatively boring“.

Die einfache Zählbarkeit der Zitate verleitet viele Kollegen, darin ein „objektives“ Kriterium zu erblicken. Ganze Zahlen lassen sich eben gut vergleichen, und zumindest direkt ist der Autor ja nicht beteiligt. Mit etwas Mühe, die sich aber kaum jemand macht, könnte man ja auch die Selbstzitate herausrechnen. Das ändert aber kaum etwas daran, dass man auch kartellartig zitieren kann. Das Kriterium lädt geradezu zur Manipulation ein. Es gilt hier „Goodhart’s Law“ aus den Wirtschaftswissenschaften: „When a measure becomes a target it ceases to be a good measure“. Wenn wir alle wissen oder vermuten, dass wir nach einem idiotischen Kriterium gemessen werden, benehmen wir uns eben wie Idioten. Dazu gehört, die Einleitung jeder Arbeit mit einer Flut von praktisch sinnlosen Zitaten vollzustopfen, in der Hoffnung, dass diese erwidert werden. Dies wird natürlich in unterschiedlichen Communities auch unterschiedlich gehandhabt, was jede Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Fächern ad absurdum führt. In der Mathematik ist es immer noch üblich, nur Arbeiten zu zitieren, aus denen man auch Inhalt importiert. In der Physik genügt es für ein Zitat in der Einleitung meist, einen der Autoren zu kennen, oder mal einen Vortrag gehört zu haben. Noch deutlich mehr zitieren Biologen. Als jemand, der in einem sehr multidisziplinären Gebiet arbeitet, kann ich auch nicht das Gerücht bestätigen,



dass diese Unterschiede nicht ins Gewicht fallen, wenn man nur Arbeiten aus „dem gleichen“ Gebiet vergleicht. Denn das ist ein sehr schlecht definierter Begriff. Physik ist für diesen Zweck auch nicht gleich Physik, und bei näherem Hinsehen ist eigentlich kein Gebiet hierin so homogen, dass ein Vergleich irgend eine „objektive“ Bedeutung hätte.

## 2.3 Beurteilung von Personen

Aus den Zitierdaten kann man auch Zusammenstellungen entwickeln, die die gesamte Tätigkeit eines Wissenschaftlers oder einer Wissenschaftlerin bewerten. Zwei einfache Maße bieten sich an: Die Gesamtzahl der Veröffentlichungen (Länge der Veröffentlichungsliste) und die Gesamtzahl der Zitate. Beide Maße liefern manchmal positive Bewertungen, die man eigentlich vermeiden möchte: Das erste belohnt Autoren, die viel schreiben, was aber niemand liest, und das zweite kann von einer einzigen viel zitierten Arbeit dominiert werden. Beide Probleme hat ein gewisser Jorge Hirsch mit einem „Geniestreich“ gelöst [2]. Er legt für jeden Autor ein Histogramm der Zitathäufigkeit über der Papernummer an, absteigend geordnet nach der Zitathäufigkeit, sodass eine monoton fallende Treppe entsteht. Die beiden Achsen haben inhaltlich nichts miteinander zu tun, dennoch zeichnet Herr Hirsch nun eine Gerade durch den Ursprung mit der Steigung 1 ein (Ich schlage vor, diese Steigung die Hirsch-Konstante zu nennen). Diese trifft den Graphen bei einem Punkt  $(x, x)$ , und  $x$  ist nun der Hirsch-Index (meist kurz h-Index) der untersuchten Person. Der h-Index ist gegen die beiden genannten Probleme unempfindlich, ansonsten aber natürlich genauso problematisch. Es gilt ja das alte Prinzip „Müll rein, Müll raus“: Ein solches zusammenfassendes Maß kann niemals aussagekräftiger werden als die Rohdaten, also die im vorigen Abschnitt diskutierten mäßig aussagekräftigen Zitationszahlen.

Dazu kommen weitere Probleme, die alle harmlos sind, solange man den Index nur als nettes Gesellschaftsspiel berechnet, die aber zu dramatischen Verzerrungen führen, wenn der Index tatsächlich zum Kriterium in einem Berufungsverfahren gemacht wird (dazu später mehr). Man macht sich leicht klar, dass der h-Index auch folgende Parameter erfasst:

- Alter. Denn  $x$  ist monoton wachsend. Für junge Autoren ist die Trennschärfe miserabel.
- Aktivität anderer Wissenschaftler mit gleichem Namen und gleichen Vornamen-Anfangsbuchstaben. Denn die üblichen Datenbanken sind dagegen blind.
- Nicht-Ascii Zeichen im Namen wie Umlaute oder Transkription aus dem Kyrrillischen. Dies führt zu mehreren Varianten des Namens in der Datenbank, also zu vielen wenig zitierten Arbeiten anstatt einer viel zitierten.

- Unter-Fachgebiet. Denn es gibt riesige Unterschiede im Zitierverhalten. Insbesondere geht folgendes ein:
- Länge der üblichen Autorenlisten. Zum Beispiel haben Physiker aus Beschleuniger-Kollaborationen haben von vornherein einen h-Index über 100, weil die Arbeiten immer die ganze Mannschaft zum Koautor machen.
- Mehrfach-Publikationen, also die Angewohnheit jeden Inhalt in „kleinste publizierbare Einheiten“ aufzuteilen, und so oft wie möglich zu streuen.
- Papiermühlen-Forschung. Damit meine ich zum Beispiel die Art von Forschung, bei der viele Arbeiten mit gleicher Methodik, aber unterschiedlichen Materialien entstehen.

Man kann diese Liste mühelos verlängern. Manche Probleme kann man durch Varianten des h-Index „beheben“. Das wiederum geht auf Kosten der Transparenz. Der Original-Hirsch-Index ist einfach und idiotisch und jeder kann das sehen und analysieren. Ein Index mit mehreren Fummel-Korrekturen verschiebt einfach die Verzerrungen, die aber schwerer zu durchschauen sind. Zum Beispiel gibt es Korrekturen durch den Mittelwert des Fachgebiets. Aber dies hängt offenbar von der Definition der „Fachgebiete“ ab und benachteiligt oder bevorzugt damit immer irgendeine Art interdisziplinärer Forschung. Ein anderer Vorschlag ist die Division der Zitate durch die Zahl der Autoren. Das behebt zwar einerseits das „Problem“ bei den Beschleuniger-Physikern, bestraft aber Kollaborationen, und führt, dazu, dass man weniger aktive Partner einer Kollaboration ausbooten muss. Das wiederum erzeugt jede Menge überflüssige persönliche Konflikte. Vor allem: „Besser“ wird durch solche Korrekturen nichts. Denn das Grundübel, die Bewertung durch inhaltsfreie Kriterien, wird nicht angegangen.

Leider gehört die Erfassung von h-Indizes in vielen Berufungskommissionen bereits zur Routine. Dabei ist selbstverständlich entscheidend, welcher Gebrauch genau davon gemacht wird. Jeder Automatismus ist hier von Übel, weil er systematische Fehler vorprogrammiert, und besonders diejenigen Forscherpersönlichkeiten begünstigt, die ihr Publikationsverhalten auf den Index hin optimiert haben. Zu der Frage, ob jemand ein hinreichend vielfältiges Spektrum abdeckt, um auch in 10 Jahren vermutlich noch interessante Forschung zu machen, kann man als Wissenschaftler im gleichen Gebiet aus der Veröffentlichungsliste durchaus etwas sagen. Dazu braucht es aber Kenntnisse und im zweiten Durchgang einen qualifizierten Blick in die Arbeiten selbst. Automatisierte Kriterien sind dafür aber grundsätzlich blind. Wir sollten also jeder automatisierten Verwendung von Indizes entgegenreten. Es ist auch ein Fehler, zur Rechtfertigung einer Kommissions-Entscheidung gegenüber der Hochschulleitung auf die Zitierstatistik abzuheben. Jedes Mal wenn das geschieht, festigt sich weiter das Bild, dass Wissenschaftler selbst nach solchen Kriterien gehen, also für den Entscheidungsprozess eigentlich nicht gebraucht werden. In anderen Ländern ist der Prozess schon gefährlich weit fortgeschritten. In Italien wird z.B. in den

zentralen Besetzungsverfahren mittlerweile ein minimaler h-Index für bestimmte Stellentypen gefordert.

In Gesprächen habe ich oft die Ansicht gehört, dass Indizes manchmal auch positive Wirkungen haben. Typisch dafür ist der Fall eines international aktiven Wissenschaftlers in untergeordneter Position, der aber von den lokalen, nicht so aktiven Platzhirschen nicht an die Futterkrippen gelassen wird. Wenn die Universität auf bibliometrisch-formelgebundene Mittelzuweisung umstellt, könnte dieses Problem durchaus gelöst werden. Allerdings könnte man sagen, dass an einer Universität, an der es Bibliometrie braucht, um wissenschaftlicher Aktivität Geltung zu schaffen, noch viel mehr im Argen liegt. Ähnliches gilt für den Einwand, dass zum Beispiel ERC-Panels so viele Kandidaten in so kurzer Zeit bewerten müssen, dass nur ein Rückgriff auf schnelle automatische Kriterien hilft. Auch hier muss man sich fragen, ob ein Entscheidungsprozess, über den solches gesagt werden muss, überhaupt noch als rationaler und fairer Prozess gelten kann, und nicht eher grundsätzlich überdacht werden muss.

### 2.3 Beurteilung von Zeitschriften

Die Unterscheidung in angesehene Zeitschriften und weniger angesehene ist so alt wie das wissenschaftliche Zeitschriftenwesen. Jeder bemüht sich, seine besten Werke in den angesehensten Zeitschriften unterzubringen, wodurch diese wiederum bessere Arbeiten aussuchen können. Es ist also ein selbstverstärkender Prozess. Letzten Endes beruht dieses Renommee auf der langjährigen Tätigkeit von Editorial Boards und ist oft an ein engeres Fachgebiet gebunden. Die „beste Zeitschrift“ in der Zahlentheorie direkt mit der „besten Zeitschrift“ für Halbleiter-Bauelemente zu vergleichen ist völlig sinnlos.

Wenn man nur den Dienst an der Wissenschaft im Auge hat, ist klar, an welche Zeitschrift man seine Arbeit schicken sollte: An diejenige, wo sie die kompetenteste Würdigung und Sichtung erfährt. Dazu ist die Größe der Leserschaft egal. Ein guter Indikator ist eher, wo gute Arbeiten zu verwandten Themen erschienen sind. Unter diesem Kriterium sind also erstklassige, spezialisierte Zeitschriften vorzuziehen.

Unter Qualifikations-Gesichtspunkten und in einer bibliometrisch geprägten Welt lautet die Antwort aber: Dort wo sie am meisten zitiert wird. Diese Größe lässt sich nun wiederum mechanisch erfassen in Gestalt des sogenannten Journal Impact Factor (JIF). Thomson Reuters, die Firma, die sich als offizielle Quelle dieser Daten anpreist, definiert diese Zahl jährlich als die Anzahl der Zitate auf Artikel der Zeitschrift in den vorangegangenen zwei Jahren, dividiert durch die Anzahl der zitierbaren Artikel in dieser Zeit. Der JIF ist ein kommerzielles Produkt, man darf also nicht einfach Listen solcher Faktoren zusammenstellen und

verbreiten. Praktisch alle Zeitschriften werben auf ihren Webseiten mit ihrem JIF, der von Thomson Reuters mit drei (!) Nachkommastellen angegeben wird. Das ist eine Beleidigung der Intelligenz jedes Wissenschaftlers, wird aber brav genau so zitiert. Die Werte schwanken von 42 (Nature) bis unter 0,1. Auch das ist noch eine Mitteilung wert, denn manche Zeitschriften werden von der Firma nicht einmal erfasst. Das trifft zum Beispiel alle Zeitschriften nicht-Englischer Sprache. Es ist instruktiv, den Ursprung dieses Produkts zu verfolgen. Thomson Reuters hat ISI (Institute for Scientific Information) gekauft, die Organisation hinter dem Science Citation Index, der ca. 1955 von Eugene Garfield und anderen ins Leben gerufen wurde. Für lange Zeit war dies ein wichtiges Hilfsmittel der Literatursuche, und das einzige, das in der Zeit vorwärts zu gehen gestattete. Denn hier war in dicken Folianten vermerkt, welche Arbeiten des zurückliegenden Jahrs welche der älteren Arbeiten zitiert hatte. Um also herauszufinden, ob jemand vor mir schon eins der Hilbertschen Probleme gelöst hat, musste ich seine Originalarbeit von 1900 in jedem der nachfolgenden Jahrgänge nachschlagen. Die Daten für den Citation Index mussten per Hand aus den gedruckten Zeitschriftenbänden herausgesucht werden. Da war es eine praktische Forderung, die Zahl der zu berücksichtigenden Zeitschriften nicht zu groß werden zu lassen. Die Ergiebigkeit einer Zeitschrift für den Index war der Ausgangspunkt für den JIF. Es wurde damals ein Mangel, nämlich die unvollständige Abdeckung der Literatur im Citation Index, durch das Wort „Impact“ zum Vorzug umgedeutet, etwa in der Art: Wir nehmen nur die besten Zeitschriften. Das hat lange niemanden weiter interessiert. Es kam aber dann die Zeit, als der Citation Index als Recherche-Hilfsmittel gegenüber der Volltextsuche im Internet obsolet wurde. Die Besitzer des Zitierdaten-Bergs brauchten einen neuen Markt und fanden ihn in der Abgabe von Bewertungen. Speziell der JIF wurde zu einem der treibenden Faktoren des Zeitschriftenmarktes.

Der JIF fungiert auch als Qualitätsausweis für einzelne Arbeiten. Es gibt Autoren, die ihre Veröffentlichungsliste nach „High Impact Journals“ und sonstigen sortieren. Auch in den Entscheidungsgremien der Wissenschaft gibt es Leute, die diese Unterscheidung im Kopf haben. Wie lächerlich das ist, hat C. Caves in einer Glosse [3] durch den Vergleich charakterisiert, dass ein Baseball-Scout die Qualität eines Werfers nach der mittleren Performance seines Teams beurteilt. Caves macht hier ein Krankheitsbild „High Impact Factor Syndrome“ aus, d.h. die Vorstellung, High Impact Publications wären besonders herausragende Leistungen. Die Krankheit ist schwer auszurotten, weil sie mit der traditionellen Vorstellung von renommierten Zeitschriften verwechselt wird.

Ein Blick auf die Daten zeigt den Unterschied: Spitzenreiter in diesem Geschäft ist Nature, historisch eine Zeitschrift mit guten Renommee und bekannt für die Spezialität, die gesamte Naturwissenschaft abzudecken. Vor ein paar Jahrzehnten hätte sie aber kaum als das non-plus-ultra für Experimentalphysik gegolten. Allerdings lag der Impact-Faktor seit der systematischen Erfassung deutlich vor

dem aller anderen Physik-Zeitschriften, einfach, weil Biologen so viel mehr zitieren. Das heißt: Wenn keine Physik-Arbeit in Nature je gelesen oder zitiert würde, wäre es immer noch „die beste“ Zeitschrift des Gebiets. Für einen Theoretischen Physiker wie mich ist das besonders eklatant. Durch das effektive Verbot von Formeln oder komplexen Gedankengängen in Nature ist es für mein Gebiet tatsächlich eher einer Illustrierten vergleichbar. Wer in Nature publiziert, sucht für seine Arbeit nicht mehr eine möglichst kompetente kritische Umgebung: Das wäre viel besser erreicht in spezialisierten Organen.

Natürlich ist der JIF leicht zu manipulieren. Ich habe mehrere Berichte von IEEE-Zeitschriften gehört, in denen der Herausgeber nach der Annahme einer Arbeit noch verlangte, einige zusätzliche Zitate auf Artikel der gleichen Zeitschrift einzufügen. Eine gute Möglichkeit ist die Erhöhung des Anteils von Reviews, die naturgemäß mehr Zitate auf sich ziehen als Originalarbeiten. Auch den Zitat-pegel insgesamt zu erhöhen hilft, wie zum Beispiel durch die Regel bei Physical Review Letters, die Literaturliste nicht auf die knapp bemessene Vier-Seiten-Grenze anzurechnen.

Die Aussagekraft des JIF ist von vorne herein durch die dubiose Annahme eingeschränkt, dass die Zitathäufigkeit Qualität misst. Als gemittelte Größe sagt er nun noch weniger aus. Warum wird er dann mit solcher Akribie erfasst und beworben? Dazu müssen wir uns ein paar wirtschaftliche Rahmenbedingungen anschauen.

### 3. Geschäftsmodelle

Wir müssen nun die Rolle der Zeitschriftenverlage beleuchten. Dabei treten sofort große Unterschiede zwischen den Fachkulturen zu Tage. So gibt es zur Zeit massiven Protest [4] aus dem geisteswissenschaftlichen Lager gegen eine Richtlinie aus dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), die das Prinzip einfordert, dass die Ergebnisse öffentlich (bzw. vom BMBF) geförderter Forschung auch öffentlich frei zugänglich sein sollten. Damit, so der Protest, werde den wissenschaftlichen Verlagen die Geschäftsgrundlage entzogen und qualitätsvolle Arbeit unmöglich gemacht. Offenbar ist dabei an kleine Verlage gedacht, in denen der Lektor im persönlichen Kontakt mit dem Autor einen wesentlichen Beitrag zur Gestaltung eines Werkes leistet. In der naturwissenschaftlichen Zeitschriftenkultur gibt es diesen Lektor überhaupt nicht, und wir reden auch nicht von kleinen sympathischen Verlagen, sondern von Großkonzernen, die nach einem atemberaubenden Konzentrationsprozess ihre Machtstellung nutzen um die Bibliotheksetats der Universitäten auszubluten. Ich werde mich hier auf die naturwissenschaftliche Zeitschriftenkultur konzentrieren, wohl wissend, dass sich schon für naturwissenschaftliche Bücher die Lage ganz anders darstellen mag.

Zunächst ist die große Leistung der Verlage für die Selektion und Verbreitung von wissenschaftlicher Information in der Zeit vor dem Internet nicht zu bestreiten. Allerdings ändert sich diese Rolle mit dem Aufkommen moderner Informationsmedien rapide. In meinem Gebiet werden inzwischen praktisch alle Arbeiten bei ihrer Fertigstellung auf einen öffentlichen Server (arXiv.org) geladen. Ursprünglich nannte man das einen „Preprint“-Server, weil es sich angeblich um Vorab-Versionen einer späteren eigentlichen „Publikation“ handelte. Aber ich schlage vor, hier dem Wortsinn zu folgen und „Publikation“ den Vorgang zu nennen mit dem eine Arbeit öffentlich zugänglich wird, also den Upload auf das Archiv arXiv. Diese Verbreitung ist praktisch instantan, weltweit und gratis für Leser und Autoren. Dazu gibt es vernünftige Suchfunktionen und Zusatz-Services. Prioritätsstreitigkeiten gibt es nicht mehr, weil der Upload sekunden genau protokolliert wird. Vorbei ist auch der Konflikt, dass unkonventionelle Forschung an uneinsichtigen Editorial Boards final scheitert, so dass sie nie das Licht der Öffentlichkeit erblickt. Wenn man den Upload parallel zur Einreichung bei einer Zeitschrift vornimmt, ist außerdem die Gefahr auf Null reduziert, dass sich ein Referee den Informationsvorsprung zu Nutze macht, eine neue Methode als einziger außer den Autoren zu kennen.

Im Vergleich zum Archiv sind die gedruckten oder analog zu gedruckten produzierten elektronischen Versionen verlagsbasierter Zeitschriften langsam und einer begrenzten zahlungskräftigen Kundschaft vorbehalten. Als erstes überträgt der Autor normalerweise dem Verlag das Copyright, was den Verlag berechtigt, für Einzel-Downloads des Artikels einige zig Dollar zu verlangen. Die meisten Wissenschaftler sehen diese Kosten bei der täglichen Arbeit nicht, weil sie pauschal von den Institutionen gezahlt werden, und weil diese Abonnements nach IP-Bereichen freigeschaltet werden. Aber es genügt, von zu Hause oder unterwegs ohne VPN-Tunnel etwas zu suchen, oder sich von einer Technischen Universität aus für medizinische Artikel zu interessieren, und man findet sich in einem Gestrüpp von Zahlungsaufforderungen (Pay Walls) wieder. Das muss natürlich niemanden wundern, denn dies ist schließlich das Geschäftsmodell des Verlags. Anstatt von „Herausgebern“ sollte man also eher von „Zurückhalten“ sprechen, jedenfalls ist „publisher“ völlig irreführend [5].

Es gibt nur einen Grund, warum man nicht einfach komplett auf die Zeitschriften verzichtet, nämlich den Begutachtungsprozess. Nach stehender Praxis haben ja nur begutachtete (peer reviewed) Arbeiten etwas auf einer Veröffentlichungsliste zu suchen, die die Basis einer Bewerbung ist. Es geht also um die Rolle von Publikationen für die Qualifikation, allgemeiner auch um Qualitätskontrolle. Auch dies ist neben der Verbreitung eine wichtige Leistung für die Wissenschaft, die schon ihr Geld wert sein sollte. Betrachten wir also die verschiedenen Möglichkeiten.

### 3.1 Das traditionelle Geschäftsmodell

Die Autoren wissenschaftlicher Artikel gehören der bestausgebildeten Berufsgruppe an. Sie angemessen zu bezahlen, würde den hohen Preis der Zeitschriften schon erklären, aber natürlich schreiben sie umsonst, oder zahlen manchmal sogar noch „Page Charges“. Das geht, weil ihre Hauptleistung, die Forschung selbst, vom Steuerzahler übernommen wird. Die Begutachtung wird von einem Editorial Board organisiert, das in den meisten Fällen ebenfalls aus akademischen Ehrenamtlichen besteht. (Die Nature Group fährt hier ein anderes Modell mit Editors, die Verlagsmitarbeiter sind). Das Board bestimmt das Profil der Zeitschrift und durch gezielte langjährige Tätigkeit kann eine Zeitschrift so einen Ruf weit jenseits der Impact-Faktoren erarbeiten. An dieser Stelle werden kaum Beiträge des Verlages geleistet, außer vielleicht eine Sekretariatskraft und Software für die Abwicklung. Den entscheidenden Beitrag zur Qualitätssicherung leisten dann die Gutachter, auch diese nicht vom Verlag bezahlt, sondern von ihrer Institution. Ihre Motivation ist im Wesentlichen Dienst an der Gemeinschaft, da sie ja ihre eigenen Arbeiten auch begutachtet sehen möchten. Manche Arbeit wird auf Hinweise oder Anforderungen der Gutachter hin auch tatsächlich verbessert. Bis zur Annahme der Arbeit hat der Verlag aber noch keinen Beitrag geleistet.

Früher traten an dieser Stelle Produktionskosten auf: Wissenschaftliche Texte zu setzen ist eine hochqualifizierte Arbeit. Ebenso war oft Lektorat nötig, um die größten Englisch-Schnitzer zu eliminieren. Inzwischen übernehmen allerdings meist die Autoren den Satz (z.B. in TeX) und geben jedenfalls elektronische Texte ab, die kaum Bearbeitung brauchen. Die Sprach-Redaktion ist nur bei wenigen Zeitschriften überhaupt noch üblich. Natürlich gibt es auch Kosten für Druck, Versand und den Betrieb eines Servers.

Die Rechnung wird schließlich den Bibliotheken der Universitäten und Forschungseinrichtungen präsentiert. Dabei ist die Preisgestaltung durch Paket-Angebote extrem unübersichtlich geworden. Einzelabonnements können für 12 Hefte im Jahr leicht im fünfstelligen Eurobereich liegen. Aber diese werden selten so gezahlt, und es ist nicht einfach an die tatsächlichen Kosten heranzukommen. Eindeutig ist, dass die rapide steigenden Kosten eine erhebliche Belastung der Bibliotheksetats darstellen. Der Präsident unserer Gesellschaft kann als ehemaliger Direktor der Universitätsbibliothek der TU Braunschweig einiges darüber erzählen, auch über die Verhandlungen mit Großverlegern, die praktisch eine Monopolposition haben und diese auch einsetzen. Im Augenblick ist gerade ein Versuch der deutschen Wissenschaftsallianz DEAL für einen Rahmenabschluss mit Elsevier gescheitert, so dass ab 1. Januar 2017 viele Deutsche Universitäten, deren Lizenzverträge gerade auslaufen (u.a. Göttingen) ihren Zugang zu Elsevier-Journalen verlieren werden.



Der wissenschaftliche Zeitschriftenmarkt gilt als Gebiet mit extrem hohen Renditen, was seiner Grundstruktur als „Lizenz zum Gelddrucken“ entspricht. Selbst die offiziell berichteten, also bereits nach Kräften klein gerechneten Profite liegen in dieser Branche bei einem Drittel des Umsatzes. Dies hat einen massiven Konzentrationsprozess bewirkt, sodass es inzwischen nur noch ein paar große Spieler gibt. Die großen drei sind Elsevier, dann Wiley und die Holtzbrinck-Gruppe. Die letztere ist die Mehrheitseignerin einer Gesellschaft, die im letzten Jahr durch Fusion aus Springer und der Nature Publishing Group (Macmillan) gebildet wurde. Natürlich waren die Partner selbst schon hochgradig fusionierte Konglomerate. Das Kartellamt sah dabei übrigens keine Monopolstellung. Wer sich das Journal of Number Theory nicht mehr leisten kann, kann ja immer noch auf eine Festkörperphysikalische Zeitschrift zurückgreifen (Ich spekuliere hier; die Begründung, wenn es eine gab, habe ich nicht gesehen.)

Wie hängt dies nun mit dem Journal Impact Factor zusammen? Man versteht ihn am besten als Vermarktungs-Tool der Verlage. Er dient als Argument, Bibliotheken davon zu überzeugen, dass man bestimmte Zeitschriften auf keinen Fall abbestellen könne. Die Preisgestaltung richtet sich bei Elsevier auch direkt danach. Im Gesamtpaket bilden die wenigen High Impact Zeitschriften preislich den Löwenanteil, so dass es das gesamte restliche Programm für einen relativ geringen Aufpreis gibt. So konnte Elsevier jüngst argumentieren, dass die Zeitschriftenpreise pro Seite kontinuierlich gefallen seien, obwohl der Paketpreis in dieser Zeit kräftig gestiegen war.

Häufig höre ich hier den Einwand, dass die Zeitschriften, die von Berufsgesellschaften herausgegeben werden, doch von dieser Kritik auszunehmen seien. Schließlich ist es ja hier die Scientific Community selbst, die profitiert. Für die Physik sind hier die Zeitschriften der American Physical Society (Physical Review und einige weitere) zu nennen. Aber das Argument ist zweischneidig. Es ist zwar wahr, dass die Preise der APS weniger überzogen sind als die von Elsevier oder Springer. Das grundsätzliche Geschäftsmodell, inclusive Einsammeln des Copyrights ist aber das gleiche. Die Einnahmen liegen auch weit über den Betriebskosten, womit nun die APS gefördert wird. Es ist also ein Umverteilungsmodell, bei dem die Bibliotheksetats der Welt die APS subventionieren. Macht das wirklich Sinn?

### 3.2 Open Access Bewegung

Das Geschäftsmodell der Verlage geriet unter Druck durch Forschungsförderungs-Institutionen, zuerst das US National Institute of Health, das die Forderung aufstellte, öffentlich geförderte Forschung müsse öffentlich verfügbar sein. Dagegen schloss sich eine Gruppe amerikanischer Verleger und eine „Copyright Alliance“, zu der auch Elsevier gehörte, zusammen und leistete 2011



Lobby-Arbeit für einen „Research Works Act“, der ihr Geschäftsmodell gesetzlich absichern sollte. Die Wirkung war allerdings das Gegenteil. Praktisch alle Förderorganisationen weltweit haben sich dieses Prinzip jetzt auf ihre Fahnen geschrieben. Die Erklärung des BMBF unter Ministerin Johanna Wanka war da sogar eher spät dran.

Es ist diese Erklärung, gegen die einige Geisteswissenschaftler Sturm laufen. In der Tat muss man hier die Fachkulturen unterscheiden und auch die Frage stellen, wie gute Wissenschaft und ein gesellschaftlich zu wünschendes wissenschaftliches Informationssystem aussehen sollte. Der Ruf nach allgemeiner gratis-Zugänglichkeit ist also vielleicht zu einfach, auch wenn er ein höchst willkommenes Zeichen gegen die Unkultur setzt, die sich bei den naturwissenschaftlichen Zeitschriften ausgebreitet hat. Von Patenten abgesehen ist dies ja auch der Löwenanteil der beim BMBF geförderten Ergebnisse. Aber auch die Geisteswissenschaften werden sich im Informationszeitalter verändern und die Verfügbarkeit neuer Verbreitungswege sollte nicht nur als Bedrohung wahrgenommen werden.

### 3.3 Open Access als Abzocke

Dass die Verlage sich reichlich beim Steuerzahler bedienen heißt nicht, dass ihre Gier damit gestillt wäre. Wissenschaftliche Autoren sind natürlich in der Regel an der freien Zugänglichkeit ihrer Werke interessiert. Solange ordentlich zitiert wird (was eine von jeglichen Copyright-Gesetzen unabhängige Frage ist), dient bessere Verbreitung immer dem Autor. Einige Verlage bieten daher an, gegen eine Gebühr (typisch: ein paar k€) einzelne Artikel in einer Zeitschrift freizuschalten. Dem Autor wird also erst sein Copyright abgepresst, und er zahlt danach noch einmal, damit dies nicht gegen seine potentiellen Leser gewendet wird. Natürlich behaupten die Verlage, nicht einfach doppelt zu kassieren (Stichwort „double dipping“) aber ich habe nirgends gesehen, dass eine Zeitschrift nachvollziehbar billiger gemacht worden wäre, weil mehr Autoren diesen Obulus entrichten.

Im Zusammenhang mit den Open Access Forderungen der Förderer kann dieses Abzocke-Modell absurde Züge annehmen. Der Vertragspartner des Förderungsgebers ist ja der Autor. Der kann dann durch die neuen Regeln gezwungen sein, diese Option zu wählen, was einem weiteren Gelddruck-Mechanismus für den Verlag gleichkommt.

Die Lösung gegen dieses Modell ist allerdings extrem einfach: Sie besteht darin, jeden Artikel schon bei der Einreichung öffentlich verfügbar zu machen. Damit ist der allgemeinen Forderung nach Öffentlichkeit bereits Genüge getan. Verlage haben natürlich versucht, sich dagegen zu sträuben. In der Physik kann man

aber klar sagen, dass sie den Widerstand gegen „Vorveröffentlichung“ fast alle aufgeben mussten, weil sie sonst zu viele gute Artikel verloren hätten. Es bleibt den Verlagen dann nur noch, auf einem Schutz der „Endversion“ im Layout der Zeitschrift zu bestehen. Dies ist vermutlich juristisch schwer zu definieren, aber jedenfalls kaum eine Behinderung. Die arXiv-Version ist ohnehin oft der Zeitschriftenversion überlegen, weil sie zusätzliches Material enthalten kann, und Bilder, die nicht auch in Graustufen aussagekräftig sein müssen. Im Gegensatz zur Zeitschriften-Version kann sie auch noch Jahre später korrigiert werden, wobei alle Versionen öffentlich verfügbar bleiben. Dadurch ist sie oft genug auch aktueller. Wer seine Leser liebt, zitiert also vorrangig die Archiv-Version [5].

Allerdings sind Preprint-Server noch lange nicht in allen Naturwissenschaften verfügbar. Dies wurde auch bei der Diskussion in der BWG deutlich. Ich stelle mich gern zur Verfügung, Interessenten die Praxis näher zu erläutern.

### 3.4 Predatory Open Access

Beim sogenannte „Goldenen Modell“ von Open Access zahlt der Autor bei Annahme des Artikels. Das erzeugt für den Verleger einen Interessenkonflikt, weil er einerseits für den Ruf der Zeitschrift ein peer-review-Verfahren durchführen muss, aber andererseits besser verdient, wenn er mehr annimmt. Da aber das peer-review-Verfahren vertraulich ist, kann diesen Teil niemand nachprüfen. Es besteht also die Versuchung, ein Review-Verfahren nur zu behaupten und einfach alles zu drucken.

Die Zeitschriften, die so entstehen, versilbern nur den Wunsch von Autoren sich gedruckt zu sehen. Wer eine echte wissenschaftliche Karriere anstrebt, wird solche Zeitschriften tunlichst meiden. Für Hobby-Forscher und Pseudowissenschaftler aller Art ist dies aber eine Möglichkeit, denn irgendwie seriös sehen solche Zeitschriften schon aus.

Es gibt eine unglaublich lange Liste von Zeitschriften und Verlegern, die (vermutlich) in dieses Muster fallen. Sie wird von Jeffrey Beal, einem Bibliothekar aus Denver, unter der Adresse „scholarlyoa.com“ geführt. Ich habe mir bei der Recherche ein paar dieser Produkte angeschaut und musste zumindest meine Auffassung revidieren, ich hätte die Unterkante der wissenschaftlichen Qualitätsskala schon gesehen: Ich glaube nun es gibt keine Unterkante. Auch der Posten eines Editors ist gegen Geld leicht zu haben. Ein Kollege, der das ausprobiert hat, bekam auf eine Sammelbewerbung für „Hoss Cartwright, Institute of Bovine Research, Ponderosa, Texas“ Angebote bei etwa jeder dritten Zeitschrift.

Das wäre alles keine Fußnote wert, wenn der treibende Interessenkonflikt nicht auch für respektable Verlage bestünde. Elsevier hat zum Beispiel über Jahre eine Gruppe von sechs Medizinischen Zeitschriften („Australasian Journal of ...“)

betrieben, die wie wissenschaftliche Zeitschriften aufgemacht waren, tatsächlich aber einfach Werbeblätter für die Pharmafirma Merck waren. Das flog 2009 bei einem Prozess auf, bei dem eines der beworbenen Medikamente vom Markt geklagt wurde. Die Praxis wurde dann gleich gestoppt. Die Affäre zeigt aber, dass der Ruf eines Verlages kein Garant für angemessene Qualitätskontrolle ist.

### 3.5 arXiv und Overlay Journals

Natürlich ist auch der Betrieb von Servern wie dem Archiv „arXiv.org“ nicht umsonst. Dieses Archiv begann 1991 auf einem PC im Büro von Paul Ginsparg in Los Alamos. Zur Zeit ist die technische Heimat die Cornell-Bücherei. Das Budget, das hauptsächlich aus Personalkosten besteht, liegt bei knapp unter  $10^6$  \$, und wird durch Beiträge von Institutionen aufgebracht. Etwa  $10^5$  Artikel werden pro Jahr hinzugefügt.

Es gibt einen Filter, das heißt es werden auch Arbeiten abgelehnt, die von vornherein nicht als wissenschaftliche Arbeiten gelten können. Bedeutsamkeit oder Korrektheit werden dabei nicht betrachtet, so dass die Filterung durch freiwillige, erfahrene Mitarbeiter innerhalb von 1-2 Tagen geschieht. Es gibt einen Server („vixra.org“) der sich abgelehnten Autoren anbietet. Nach meinem Eindruck zeigt ein Blick auf dieses Spiegel-Archiv, dass die Filterung sinnvoll ist. Der Prozess muss aber kritisch begleitet werden, denn eine Zensur an dieser Stelle würde dem Grundgedanken widersprechen [6].

Die weitergehende Maßnahme, eine normale Begutachtung mit dem Archiv zu verbinden, wird ausdrücklich nicht geplant. Auch das ist gut, weil es arXiv erlaubt, sich auf die Kernaufgabe zu konzentrieren. Andererseits spricht nichts dagegen, eine Begutachtung parallel dazu einzurichten. Auch hier fallen wenig Kosten an, weil ja auch die etablierten Zeitschriften ihren Gutachtern nichts zahlen. Es entsteht so ein Overlay-Journal, das gar keine Manuskripte mehr handhaben muss. All dies geschieht beim Archiv, und ein Autor reicht eine Arbeit ein, indem er eine arXiv-Nummer angibt. Wenn im Begutachtungsprozess Änderungen nötig werden, werden diese durch Upload einer neuen Version vorgenommen. Bei Annahme wird die Versionsnummer mit angegeben, und damit kann die Arbeit in jedem Kontext als „peer reviewed publication“ angeführt werden. Die „Zeitschrift“ selbst besteht im Kern aus einer Liste der arXiv-Nummern angenommener Arbeiten. Dazu können weitere aufschließende Informationen gegeben werden, das ist aber zunächst nicht entscheidend. Ich kenne zwei solcher Projekte etwas genauer. Das erste, Discrete Analysis (discreteanalysisjournal.com) wurde von Tim Gowers letztes Jahr gegründet, und scheint ganz gut zu laufen, obwohl das Volumen eher klein ist (74 Einreichungen im ersten Jahr). Bei dem zweiten Projekt Quantum (quantum-journal.org) war ich in der Gründungsphase selbst beteiligt. Für das Editorial Board konnten wir ein wirklich

exzellentes Team zusammenstellen, und nach dem Echo in der Community hege ich die Hoffnung, dass diese Zeitschrift ebenfalls gut laufen, das heißt als Ort exzellenter Publikationen bekannt werden wird.

Bei all solchen Projekten wird man zunächst konservativ vorgehen, also ganz ähnlich wie bei einer Verlags- und papiergebundenen Zeitschrift. Verzichten wird man lediglich auf einige künstliche Einschränkungen und obskure Kriterien, die der Sache nicht dienen, sondern kontraproduktive Relikte des Papierzeitalters sind (siehe nächster Abschnitt). Wenn das Projekt gut läuft, kann man dann auch weitergehende Experimente machen, die die Qualität für die Leser steigern. In beschränktem Maß kann man die Leser an der Begutachtung beteiligen, Gutachten teilweise veröffentlichen, besonders gute Artikel hervorheben und bessere Verschlagwortung oder Hintergrundinformationen anbieten. Ich hoffe, auch da kommen wir noch hin.

### 3.6 ResearchGate

Die Welt der sozialen Medien hat auch vor der Wissenschaft nicht halt gemacht. Neuerdings gibt es ein verbreitetes Portal, das sich selbst recht aggressiv vermarktet. Wer beitrifft und nicht gut aufpasst, hat im Handumdrehen allen seinen Koautoren eine Aufforderung zugemailt, doch auch beizutreten [7]. Nervig sind auch die vielen Statistiken, die Schwachsinn-Mails erzeugen wie: „Wir gratulieren dazu, dass sie in diesem Monat der meistgelesene Autor Ihres Departments sind“. Oder „Ihre Arbeit XY hat 100 Zitate erreicht“. „Ihr Kollege XY hat eine neue Arbeit veröffentlicht“. Das Portal liebt Bewertungen und man bekommt auch gleich einen ReserachGate-Rang, den man durch nachgefragte Publikationen verbessern kann, oder durch Hochladen eines Profilphotos.

Ein völliger Flop ist (jedenfalls in der Quantenphysik) der Bereich „Questions and Answers“. Die Idee ist ja nicht schlecht, denn eigentlich sind Wissenschaftler gern bereit, auch mal was zu erklären. Aber leider waren bei meinen Stichproben die Fragen so doof oder absurd allgemein, dass kein echter Austausch darüber denkbar war. Im Zusammenhang damit steht ein System von „bestätigten Expertisen“, und man erhält eine weitere Sorte überflüssiger Emails wie „So and so endorsed you for operator algebras“. Für mich waren all diese Mails in gewisser Weise die einzige Anwendung des Portals: Sie zeigten mir in mehreren Fällen, dass Kollegen, die ich ruhestandshalber aus den Augen verloren hatte, doch aktiv die Dinge verfolgen, so dass ich wieder Kontakt aufnehmen konnte.

Das Portal hat ein eigenartiges Verhältnis zum Copyright. Man wird ständig aufgefordert, „full text“ Versionen von Arbeiten hochzuladen, in vielen Fällen also zu einer Verletzung der Copyright-Vereinbarung mit einem Verlag. Auch wenn hinreichend deutlich geworden sein dürfte, dass ich für die größte mögli-

che Offenheit plädiere und nicht gerade Interessenvertreter der Verlage bin, finde ich das, derartig systematisch praktiziert, problematisch. Die „Öffentlichkeit“, die hier erreicht wird, ist obendrein auf die Mitgliedschaft eingeschränkt, wofür wiederum im Normalfall eine institutionelle Adresse vorausgesetzt wird.

Eine interessante Möglichkeit ist, kleinere Texte oder Blog-artige Beiträge direkt zu verbreiten. Ein Mitglied unserer Gesellschaft (aus einem Fachgebiet ohne arXiv) sagte mir, dass er dies sogar für Originalarbeiten nutzt. Wie sinnvoll das ist, hängt natürlich allein davon ab, ob man wirklich ein relevantes Publikum erreicht. Bei 11 Millionen Nutzern gibt es da Möglichkeiten. Ob aber ein Portal eher dubioser Provenienz wirklich zu einem zentralen Forum wissenschaftlichen Austauschs werden kann, muss sich zeigen. Ich habe (aktiv) jedenfalls noch keine Einladungen verschickt.

Zum Geschäftsmodell: Nach Bekunden der Betreiber wird das Geld mit hoch spezifischer Werbung verdient. Dazu kommen vermutlich Stellenanzeigen und Konferenzwerbung. Aber wie damit die derzeit ca. 300 Mitarbeiter überleben bleibt mir schleierhaft.

## **4. Interessen und alte Zöpfe**

Das gegenwärtige verlagsbasierte Publikationssystem hat manche Züge entwickelt, an die wir uns gewöhnt haben, die aber nicht im Sinne guter Wissenschaft sind, oder einer sinnvollen Qualifikation junger Wissenschaftler dienen. Ich möchte abschließen mit einer losen Folge solcher Relikte des Papierzeitalters, als Denkanstöße und ohne jeden Anspruch auf Vollständigkeit. Dabei geht es mir nicht um billige Kapitalismuskritik, die die kommerziellen Interessen der Verlage für alles Übel verantwortlich macht. Nur sollte man die Interessen der Verlage und die Interessen der Wissenschaft nicht verwechseln, wenn man an den Aufbau eines neuen wissenschaftlichen Informationssystems denkt.

### **4.1 Top Journals**

Ich hatte schon das Prinzip angesprochen, nach dem man eigentlich das Publikationsorgan für einen Artikel auswählen sollte: Nämlich dort wo sich am ehesten eine kompetente wissenschaftliche Auseinandersetzung ergibt. Wenn man stattdessen auf High Impact setzt, entfällt die inhaltliche Komponente dieser Wahl, und viel mehr Arbeiten werden an die immer gleichen Zeitschriften am oberen Ende der Impact-Skala geschickt. Das gefährdet die Vielfalt.

In der Physik sind die Physical Review Letters (PRL) eine solche Spitzenzeitschrift (Selbstbeschreibung: „Premier Journal“). Damit geht einher, dass PRL komplett mit Einreichungen überlastet ist, also kaum einen qualifizierten Review-

Prozess organisieren kann. Die Editoren, die die Referees auswählen, sind eher Berufsanfänger, und verstehen selbst wenig von den Inhalten. Die Wahl wird also weitgehend zufällig, wofür auch als Begründung her hält, dass PRL für ein breites Publikum gemacht wird (siehe unten), und also auch ein zufälliger Physiker als Tester dienen kann. Für das nicht nur von mir wahrgenommene große Zufallselement hat sich auch die Interpretation der Initialen der Zeitschrift als „Physical Review Lottery“ verbreitet. Das passt überhaupt nicht zu der Vorstellung, dass gerade Publikationen in PRL ein besonders Gewicht beigemessen wird.

An diesem Problem ändert sich nichts durch Verschärfung der Kriterien, also der Erhöhung der Ablehnungsrate, die manchmal als Ausweis der „Qualität“ einer Zeitschrift genommen wird. Dann wird eben eine Lotterie mit schlechter Gewinnerwartung daraus, im Extremfall das „Journal of Universal Rejection“. Qualität entsteht dabei nicht, wenn am Grundproblem der vielen schlechten Gutachter nichts geändert wird.

## 4.2 Peer Review

Dies ist ein Grundprinzip jeder guten Wissenschaft: Sie hängt entscheidend davon ab, dass wir unsere Ideen gegenseitig kritisieren. Im Standardmodell einer Zeitschrift verkommt dieses eherne Prinzip aber zu einer unbezahlten Hilfstätigkeit für die Verlagsentscheidung „Annahme/ Überarbeitung/ Ablehnung“. Die Aufmerksamkeit durch Experten, die eine der raren Ressourcen des Systems ist, wird hier weitgehend verschwendet. Es „lohnt“ sich nicht, das Referieren besonders ernst zu nehmen, weil die Gutachten letzten Endes im Papierkorb landen. Man erhält als Autor also viele Gutachten, aus denen nicht einmal zweifelsfrei hervorgeht, dass die Arbeit überhaupt, geschweige denn gründlich, gelesen wurde. Wegen des Problems, überhaupt Referees zu finden, werden solche Schrott-Gutachten aber nicht einfach weggeworfen.

Der Review-Prozess steht und fällt mit der Qualität der Referees. „Peer Review“ ist also per se kein Garant für Qualität oder auch nur für Wissenschaftlichkeit. Anschaulich wird das durch die Elsevier-Zeitschrift „Homeopathy“ vorgeführt. Natürlich sind die Peers hier Homöopathen. Die grundsätzliche Auseinandersetzung mit der Homöopathie und ihrem Wissenschaftsanspruch wird man also woanders führen müssen.

## 4.3 Länge und Geschwindigkeit

PRL ist eine Briefzeitschrift, die 1955 dadurch entstand, dass die „Letters to the Editor“ des Physical Review ausgegliedert wurden. Es hatte sich eingebürgert,

wichtige Ergebnisse vorab als Leserbrief zu veröffentlichen. Im Interesse der schnellen Verbreitung solcher Ankündigungen wurde die Brief-Zeitschrift gegründet, wobei ausdrücklich im Interesse der Geschwindigkeit Abstriche bei der Satzqualität und bei der Begutachtung gemacht wurden. Ebenfalls im Interesse der Geschwindigkeit wurde eine strikte Seitenbegrenzung auf vier Seiten eingeführt, die im wesentlichen immer noch gilt.

PRL hat inzwischen die regulären Abteilungen von Physical Review weit an „Impact“ überflügelt. Das liegt auch in der Logik des Zitierens, denn nach Möglichkeit wird man immer auch junge Arbeiten zitieren, um Vertrautheit mit der neuesten Literatur zu dokumentieren. Da sich diese Zeitschriften der American Physical Society das Impact-Denken ganz zu eigen gemacht haben, wird dies offen auch als relative Wertung behandelt. Zum Beispiel kann eine gute, aber bei PRL abgelehnte Arbeit zu einer Einreichung für die anderen Sektionen „herabgestuft“ werden, wobei die Reports weiter benutzt werden. Zunehmend unterbleibt es daher auch, dass Autoren auf eine PRL-Ankündigung noch eine lange Arbeit folgen lassen. Denn das macht zwar viel mehr Arbeit, bringt aber weniger Prestige.

Wenn aber die „Letters“ nicht mehr Ankündigungen sind, auf die normalerweise noch eine Tat folgt, wird die Seitenbegrenzung kritisch. Bei in sich abgeschlossenen Arbeiten gibt es überhaupt keinen Grund, warum eine kurze Arbeit besser sein sollte als eine lange. Die natürliche Korrelation ist anders herum. Wenn ein Inhalt, der sich auf 7 Seiten gut erklären ließe, auf 4 Seiten komprimiert wird, entsteht ein schwer nachvollziehbarer Text. PRL enthält tatsächlich reichlich unbrauchbaren Müll („The four page pest“). Diese Arbeiten werden nicht mehr geschrieben, damit andere darauf aufbauen können, sondern nur noch, um an den Referees vorbeizukommen.

Es wird manchmal argumentiert, dass die Zeit der Leser eben begrenzt ist, so dass kurze Arbeiten eher gelesen werden können. Aber selbst kurze Arbeiten werden ja in Stufen gelesen (Titel-Abstract-Einleitung-Referenzen-Bilder-etc), wobei auf jeder Stufe das Interesse erlahmen kann. Eine gut geschriebene lange Arbeit erlaubt es, mit genau dem gleichen Leseverhalten die wesentlichen Inhalte genauso schnell zu sichten. Nur bietet sie zusätzlich die Möglichkeit, ins Detail zu gehen und aufgestellte Behauptungen mit einer abwägenden Diskussion zu stützen. PRL erlaubt seit längerem elektronische Supplements, so dass wissenschaftlich abgerundete Arbeiten im Prinzip möglich wären. Allerdings werden die Supplements in der Praxis nicht mit begutachtet, und sollten keine wissenschaftliche Substanz oder zusätzliche Gedanken enthalten.

Zusammenfassend: Es gibt keinen sachlichen Grund, das verlegerische Kriterium „Seitenzahl“ zum Auswahlkriterium einer Spitzenzeitschrift zu machen, also zum Teil der wissenschaftlichen Qualitätsbewertung.



## 4.4 Allgemeines Interesse

Verleger möchten gern eine große Leserschaft. Deswegen ist es natürlich, von Artikeln zu verlangen, dass sie möglichst viele Leser interessieren. PRL formuliert dies für seine Leserschaft „alle Physiker“, Nature sogar für „alle Naturwissenschaftler“. Auch ein Wissenschaftler freut sich über Resultate, die von großem allgemeinen Interesse sind. Nur gibt es eben viele Ergebnisse, und zwar gerade Spitzenergebnisse, die nur Leser mit einer geeigneten Vorbildung würdigen können. Zeitschriften, die das verlegerische Kriterium „Broad interest“ zum Auswahlkriterium machen, schließen also große Bereiche der Spitzenforschung von vornherein aus. In der Theoretischen Physik ist es fast immer unmöglich, ein Ergebnis ohne Formeln angemessen auch nur zu formulieren. Zu viele Formeln schrecken aber Leser aus der Biologie ab, und versauen das schöne Druckbild von Nature. Deswegen schaffen es Arbeiten der Theoretischen Physik (oder gar der mathematischen) praktisch nie in diese „Spitzenzeitschrift“. Für unsere Zwecke ist es eher ein Boulevardblatt.

Auch hier gilt wieder, dass es am Modell von Nature eigentlich nichts zu kritisieren gibt: Die Idee einer allgemeinen naturwissenschaftlichen Zeitschrift mit Originalarbeiten aus allen Bereichen ist zwar ein bisschen verrückt, aber man kann es ja versuchen. Problematisch wird es nur, wenn wir der Impact-Logik aufsitzen und dieses Modell zum Maß aller Dinge küren. Es ist klar, was dann passiert. Um ein Ergebnis in Nature zu bringen muss eine angemessene Storyline formuliert werden. Abschreckende Spezialterminologie muss dabei vermieden werden. Besonders der Titel muss dem Fachfremden beinahe verständlich erscheinen. Dabei wird gleichzeitig verallgemeinert, denn dadurch erscheint ja das Resultat bedeutsamer. Aus „Ein Beispiel für Phänomen X“ wird so „Phänomen X“. Eine Storyline wird durch „wenn und aber“ nur komplizierter. Kritische Abwägung sollte man dem Referee überlassen, und man fügt Argumente, die nicht direkt zum Hauptergebnis führen, nur noch auf seine Anforderung hinzu.

## 4.5 Errata und Living Reviews

Wenn eine Zeitschrift erst mal im Druck ist, lässt sich nichts mehr ändern. In diesem Sinn bleibt alles, was einmal an den Torwächtern der Begutachtung vorbeigekommen und veröffentlicht ist, ewig gültig. Zumindest legt das Druckmedium diese unsinnige Sicht nahe. Zeitschriften tun sich schwer mit Errata und weiterlaufenden Kommentaren und Gegenkommentaren. Selbst Arbeiten, die wegen gefälschter Ergebnisse gänzlich zurückgezogen werden mussten, sind nicht immer klar als solche gekennzeichnet. Im Druckmedium geht das ja sowieso nicht, also muss man sich anscheinend beim Internet-Auftritt auch keine besondere Mühe geben.



Andererseits schreit das Medium Internet nach solchen Aktualisierungen. Das Archiv arXiv bietet selbstverständlich die Möglichkeit, aktuellere Versionen nachzuladen, wobei jeweils die neueste Version direkt angeboten wird, aber alle älteren mit einem weiteren Klick zu bekommen sind. Der neueste Stand kann auch „zurückgezogen“ sein, was durchaus öfter vorkommt. Ein frühes Projekt, das die Nachbesserung zum Prinzip machte, waren die Living Reviews, die 1995 am Max Planck Institut für Gravitationsphysik gegründet und 2015 an Springer verkauft wurden. Autoren dieser Übersichtsartikel sind gehalten, regelmäßige Aktualisierungen vorzunehmen. Ähnliches gilt von der Stanford Encyclopedia of Philosophy. Es sind solche Angebote, die einen die Möglichkeiten eines zukünftigen wissenschaftlichen Informationssystems erahnen lassen. Was statisch in den Regalen schlummert, kann nur ein Teil davon sein. Was wir brauchen, sind intelligente Möglichkeiten, den Papierberg zu strukturieren und nutzbar zu machen. Der Dienst Google Scholar hat bereits den Begriff „Literaturrecherche“ neu definiert, aber das wird nur ein Anfang sein.

Die Verlage haben sich bislang kaum für die Zukunft interessiert. Ihre Portale zeigen das deutlich. Wer ältere Artikel sucht, muss sich oft mühsam durchklicken und braucht neben der Bandangabe auch noch die Heftnummer. Man meint, den Staub des Zeitschriftenmagazins zu riechen. Zwar werden wie im Internethandel mit jedem Artikel „verwandte Artikel“ angeboten. Dies sind aber verwandte Artikel des gleichen Verlegers, was doch recht borniert wirkt.

#### **4.6 Artikel als kleinster zu würdigender Beitrag**

Alle besprochenen Systeme gehen davon aus, dass die kleinste Einheit einer wissenschaftlichen Leistung ein Artikel ist. Natürlich kommt das daher, dass Artikel die Basis-Struktur für die Organisation einer Papier-Zeitschrift sind. Für die Qualifikation von Wissenschaftlern ist es ebenfalls die Basis-Einheit. Aber natürlich ist das nicht zwingend. Historisch spielten Briefe zwischen Gelehrten eine wichtige Rolle, in der Informatik sind eingeladene Vorträge bei wichtigen Tagungen noch bedeutsamer, für einen Ingenieur zählen auch Patente, und für Geisteswissenschaftler Bücher.

Die Dominanz der Zeitschriften-Artikel für die Qualifikation macht es teilweise schwer, neue interessante Kommunikationsformen weiter zu entwickeln. Beiträge zu strukturierten Online-Angeboten liegen oft weit unter dieser Schwelle, und sind daher für viele Wissenschaftler in der Qualifikationsphase nur in dem Maße interessant, wie es beim Schreiben von Artikeln hilft. Ein kleines Beispiel: Ich habe ca. 2000 eine Webseite für offene Probleme der Quanteninformationstheorie [8] eingerichtet, die auch regelmäßig weiter geschrieben werden sollte. Einzelne Probleme sollten von ausgewählten Kollegen weiter betreut werden, die dem natürlich auch zugestimmt hatten. Dennoch ist das Projektnach weni-

gen Jahren eingeschlafen, nicht zuletzt weil auch ich selbst es nicht mit höchster Priorität betrieben habe.

Eine interessante Analyse über die Möglichkeiten Web-basierter Wissenschaft hat Michael Nielsen in seinem Buch „Reinventing Discovery“ [9] vorgelegt. Dabei richtet er sein Augenmerk besonders auf die Anreize, die dazu führen, dass manche Projekte hervorragend funktionieren, deren Fehlen aber auch gutgemeinte Projekte wie meine Problemseite schnell sterben lässt. Zu den interessanten Projekten zählt hier das Polymath-Projekt, bei dem mathematische Probleme gemeinsam von einer großen Gruppe von Mathematikern bearbeitet wurden. Wer hier hereinschaut sieht schnell den Verdacht ausgeräumt, dass offene Internet-Projekte immer schnell mit Troll-Beiträgen zugemüllt werden. Das Niveau ist hoch, unter anderem weil einige erstklassige Leute wie Terrence Tao sich engagieren. Es gibt inzwischen auch schon interessante Erfahrungen darüber, welche Teile der Arbeit in einem solchen offenen Projekt besonders effektiv bearbeitet werden können (zum Beispiel die Klärung des Umfelds). Gute Beiträge zu einem solchen Projekt müssten auch zur Kenntnis genommen werden und zur Karriereförderung beitragen. Aber dies wird niemals allein durch die Einrichtung irgendwelcher elektronischer Erfassungs- und Bewertungssysteme geschehen. Entscheidend wäre, dass die Community beginnt, in solchen Tätigkeiten einen Wert zu sehen. Als Ginsparg den arXiv-Server gründete wurde er von manchen gescholten, er solle sich doch lieber um seine Forschung kümmern. Heute sieht jeder Physiker den Wert dieser Errungenschaft ein.

## 5. Fazit

Die Informationstechnologie kann gute Wissenschaft auf vielfältige Weise unterstützen, aber wir haben erst einen kleinen Teil der Möglichkeiten überhaupt gesehen. Die Strukturen der papierbasierten Verlagswelt sind bei der Entfaltung dieser Möglichkeiten eher hinderlich, und ihre weitere Unterstützung ist absurd teuer.

Ein Hoffnungsschimmer ist das Platzen der DEAL-Verhandlungen mit Elsevier: Wenn viele Institutionen ohne Elsevier-Subskription auskommen müssen, könnte das eine heilsame Suche nach Alternativen auslösen. Jeder muss sich fragen, ob er in Organen publizieren möchte, deren Preispolitik viele Kollegen daran hindert, die Ergebnisse zu sehen, und ob er seine kostbare Zeit in eine Herausgeberschaft investieren möchte, die zunehmend nur noch dem Verlag, aber nicht mehr der Wissenschaft dient. Diese Fragen stehen im Raum, auch wenn die Verhandlungen doch noch zu einem neuen Vertrag führen sollten, und natürlich betreffen sie auch nicht nur Elsevier.

Dass eine große Veränderung ansteht, ist klar. Der Prozess dahin wird spannend sein. Es wäre großartig, wenn die Wissenschaft sich nicht wieder passiv hinein-

treiben lässt, sondern es schafft, ein System zu etablieren, dass tatsächlich gute Wissenschaft und nicht einen Wettbewerb um dämliche Maßzahlen fördert.

## Literatur

Eng verwandte Themen habe ich behandelt in:

RFW: „Why we should not think of PRL and Nature as the top journals in Physics“, Beitrag zum Blog des Instituts IQOQI, <http://www.iqoqi-vienna.at/blog/article/reinhard-f-werner/>

RFW: „The focus on bibliometrics makes papers less useful“, Kolumne „World View“ in Nature **517**(15 Jan 2015) 245

## Zitierte Werke und Anmerkungen:

- [1] Richard von Noorden, Brendan Maher und Regina Nuzzo: „The top 100 papers“, Nature **514** (Oct. 2014) 550-553
- [2] Jorge Hirsch: „An index to quantify an individual's scientific research output“. [arxiv.org/abs/physics/0508025](http://arxiv.org/abs/physics/0508025). Auch in PNAS **102** No 46(2015): 16569–16572.
- [3] Carlton Caves: „High-impact-factor Syndrome“, Kolumne The back page, APS News **23**(2014), <http://www.aps.org/publications/apsnews/201411/backpage.cfm>
- [4] Norbert Frei: „Goldener Zugang“, Süddeutsche Zeitung, 11.11.2016 und <http://www.sueddeutsche.de/politik/kolumne-goldener-zugang-1.3244900>  
 Uwe Jochum: „Digitale Wissenschaftskontrolle“, Frankfurter Allgemeine Zeitung, Feuilleton, 25.11.2016 und <http://www.faz.net/aktuell/feuilleton/debatten/open-access-publikationssystem-laeuft-auf-kontrollsystem-aus-14538833.html>
- [5] Um dem Rechnung zu tragen, schlage ich vor, Artikel zu zitieren in der Form  
 F. Author: This is the Title. arXiv/1701.17500. Auch in Nature **42** (1905)1-137.  
 Falls nur eine kostenpflichtige Version existiert, würde daraus:  
 F. Author: This is the Title. Nature 42 (1905)1-137. Not freely available  
 Der letzte Teil zeigt jeweils auf, dass man darin jedenfalls einen Makel sieht. Dieses Zitierformat kann man erst mal auf dem Archiv verwenden. Zeitschriften werden sich zunächst sperren, aber wenn es sich genügend viele Kollegen angewöhnen, nicht sehr lange.
- [6] Nicolas Gisin: Thought police – on arXiv?  
 Beitrag zum Blog des Instituts IQOQI. <http://www.iqoqi-vienna.at/blog/article/nicolas-gisin/>

- [7] Nach den aktuellen Anleitungen auf dem Portal, ist dies jetzt kein Automatismus mehr.
- [8] Open Problems in Quantum Information Theory, Webseite im Wiki-Format, [http://qig.itp.uni-hannover.de/qiproblems/Open\\_Problems](http://qig.itp.uni-hannover.de/qiproblems/Open_Problems)
- [9] Michael Nielsen: Reinventing Discovery – The new era of networked science, Princeton University Press, 2012

## **Kooperationsmodelle zwischen drahtlosen Breitband- (Broadband-) und Rundfunk- (Broadcast-)netzen – Ideen für die Kanalisierung der Datenflut\***

ULRICH REIMERS

Technische Universität Braunschweig, Institut für Nachrichtentechnik  
Schleinitzstraße 22, D-38106 Braunschweig, E-Mail: u.reimers@tu-bs.de

Noch vor wenigen Jahren war die Situation überschaubar: Es gab Broadcastnetze, über die Hörfunk und Fernsehen übertragen wurden und es gab Telekommunikationsnetze, die dazu dienten, anfänglich nur Telefonate, später dann aber auch das Versenden von E-Mails etc. möglich zu machen. Diese Situation hat sich seither grundsätzlich geändert. Smartphones sind die ständigen Begleiter in allen Lebenslagen geworden und besitzen mittlerweile so hochwertige Displays, dass es Spaß macht, darauf auch Videos zu betrachten – wenn auch vermutlich nur für relativ kurze Zeit. Für die Verbindung mit der Außenwelt sind Smartphones auf drahtlose Broadbandnetze, also Mobilfunknetze oder WiFi-Netze, angewiesen (WiFi: Markenname der Verbindungen über Wireless Local Area Networks – WLAN). Die jährlich von dem amerikanischen Unternehmen Cisco publizierte Studie VNI Mobile (VNI: Visual Networking Index) prognostiziert eine Entwicklung, die aus den Mobilfunknetzen Video-Netze macht, denn beispielsweise soll im Jahr 2020 etwa 75% des über diese Netze abgewickelten Datenverkehrs Video sein. Die folgende Abbildung 1 dokumentiert diese Prognose (1 ExaByte sind  $1000 * 1000 * 1000$  GByte, also  $10^{18}$  Byte). Während der gesamte Datenverkehr in den Mobilfunknetzen der Welt im Jahr 2015 bei etwa 4 ExaByte pro Monat lag, wovon 55% Videodaten waren, werden es hiernach 2020 etwa 30 ExaByte pro Monat sein – bei einem Video-Anteil von 75%. Es kann nicht erwartet werden, dass es unter technisch/wirtschaftlichen Gesichtspunkten möglich ist, dass die heutigen Mobilfunknetze mit ihrer Struktur aus kleinen Funkzellen dieses Video-Wachstum bewältigen können. Insbesondere bei großen Sport- und sonstigen Ereignissen, die von zahllosen Menschen „live“ gesehen werden wollen, ist zu befürchten, dass es zum Zusammenbruch dieser Netze kommen wird.

---

\* Der Vortrag wurde am 11.03.2016 vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

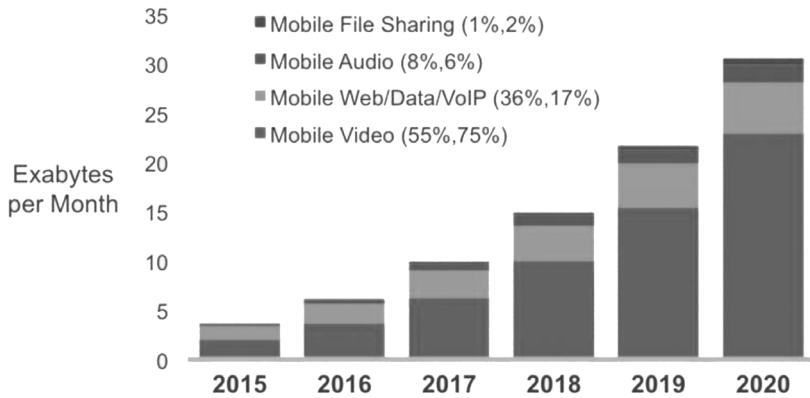


Abb. 1: Prognose der Entwicklung des monatlichen Datenaufkommens in den weltweiten Mobilfunknetzen (Quelle: CISCO VNI Mobile 2016).

Das Institut für Nachrichtentechnik (IfN) der Technischen Universität Braunschweig ist weltweit für seine bedeutende Rolle bei der Entwicklung der Systeme des Digitalen Fernsehens, der DVB-Systeme für die Übertragung in Kabelnetzen, per Satellit oder terrestrische Sender, bekannt. In Anbetracht der in Abb. 1 prognostizierten Entwicklung der Bedeutung von Videodaten in Mobilfunknetzen und der daraus abgeleiteten Befürchtung, dass diese Netze an ihre Grenzen geraten werden, hat sich das Forschungsgebiet der Abteilung für Elektronische Medien seit Jahren verlagert: Es geht nun um die Kooperationsmodelle zwischen den klassischen Broadcast- und den drahtlosen Broadbandnetzen.

## I. Dynamic Broadcast

Unter dem Oberbegriff „Dynamic Broadcast“ fassen wir ein im Jahr 2010 gestartetes Forschungsfeld zusammen, dessen zentrales Ziel die Dynamisierung des Daten-, Hör- und Fernsehfunks ist [1]. So entsteht ein System, welches im Vergleich zu klassischen Rundfunksystemen eine besonders Kosten- und Spektrums-effiziente Programmverbreitung erlaubt. Der Aspekt der Kooperation zwischen den Broadcast- und den drahtlosen Broadbandnetzen wird hier dadurch adressiert, dass die bisher vom Broadcast dauerhaft genutzten Frequenzen zeitweise zur Nutzung durch die drahtlosen Broadbandnetze freigegeben werden [3]. Neben dem klassischen, terrestrischen Rundfunk-Übertragungsweg kann bei Dynamic Broadcast zusätzlich ein Internetzugang für die Bereitstellung von Fernsehinhalten verwendet werden. Eine in die Endgeräte integrierte Festplatte ermöglicht zudem eine Vorab-Übertragung und lokale Speicherung von Sendungen,

die nicht live ausgestrahlt werden, sondern – wie die überwiegende Mehrzahl der Programme – vorab produziert wurden und mit Hilfe geeigneter Signalisierung zur richtigen Sendezeit automatisch vom lokalen Speicher abgespielt werden. Die Wahl des Übertragungsweges (Broadcast oder Internetzugang) und des Übertragungszeitpunktes (live oder Vorab-Übertragung auf die integrierte Festplatte) wird von einem zentralen Netzwerkelement, der „Decision Logic“ übernommen [2]. Diese versucht durch geschickte und dynamisch an den Bedarf angepasste Re-Konfigurationen des Netzwerks, Übertragungskosten zu senken und die Verwendung des terrestrischen Rundfunkspektrums zu optimieren. Das System wird so realisiert, dass die Komplexität des Netzwerks für die FernsehzuschauerInnen verborgen bleibt und der gewohnte Charakter linearer Fernsehdienste erhalten bleibt. Hierzu werden Endgeräte benötigt, die unbemerkt netzwerkgesteuerte Umschaltvorgänge realisieren und netzwerkgesteuerte Aufnahmen starten. Das Endgerät im Dynamic Broadcast wird damit Teil des Systems und die Frage des Energieverbrauchs eines eben auch von außen angesteuerten Empfängers bedarf besonderer Aufmerksamkeit [4].

Dynamic Broadcast kann auch dazu verwendet werden, virtuelle Übertragungskanäle zu realisieren, was insbesondere für lokale Fernsehanbieter von Interesse sein kann. In Zeiten, in denen nicht alle Ressourcen des Broadcastkanals (bei DVB-T stehen Ressourcen für vier Programme pro Kanal zur Verfügung) nicht für die Live-Übertragung benötigt werden, kann nämlich weiterer Programminhalt – entweder zum sofortigen Konsumieren oder zur Speicherung auf der Festplatte übertragen werden. Für die Zuschauer/innen entsteht so ein Mehrwert, ohne dass mehr Übertragungskapazität (Frequenzen, Sender, Kosten) benötigt werden.

## **II. Ein Tower Overlay zur Erweiterung zellularer Mobilfunknetze**

Der Begriff „Tower Overlay over LTE-Advanced+ (TOoL+)“ (LTE: Long Term Evolution, die aktuellste Version der Mobilfunktechnik) beschreibt ein im Jahr 2011 gestartetes Forschungsfeld [5]. Es zielt darauf ab, zellulare Mobilfunknetze durch Einbindung von Senderstrukturen, wie sie aus dem Broadcast bekannt sind, zu entlasten und gleichzeitig die damit verbundenen Betriebskosten zu reduzieren. Abbildung 2 zeigt das Konzept. Die Hexagons symbolisieren die kleinflächigen Zellen des Mobilfunknetzes. Diese überspannt der von einer hohen Sendeanlage bereitgestellte Overlay.

Technische Grundlage sind der aktuellste Mobilfunkstandard Long Term Evolution Advanced (LTE-A), welcher jedoch in geringem Maße erweitert werden muss, woraus der Arbeitsname LTE-A+ resultiert, sowie die Broadcast-Standards DVB-T2 und (zukünftig) der in Nordamerika vor der Einführung stehende Standard ATSC 3.0. Die LTE-A+-Signale, welche von Smartphones genutzt werden können, sind in die DVB-T2-Signale eingebettet, so dass von einer hohen Sendeanlage sowohl

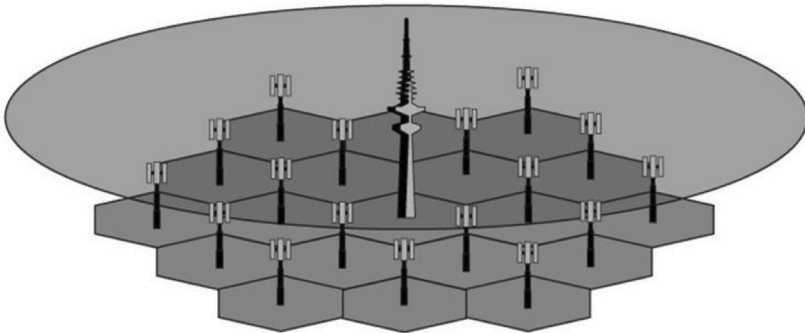


Abb. 2: Tower Overlay over LTE-A<sup>+</sup>.

das Digitale Fernsehen als auch der die Mobilfunknetze entlastende Signalanteil ausgestrahlt werden. Insbesondere können mit TOoL+ also Videosignale übertragen werden, die sonst in zahlreichen Mobilfunknetzzellen bereitgestellt werden müssten. Dabei ist zu beachten, dass für eine angemessene Darstellung auf mobilen Geräten mit großen und hochauflösenden Displays Datenraten von ungefähr 1,4 Mbit/s benötigt werden, was unter Umständen dazu führt, dass ein erheblicher Anteil der in Mobilfunknetz-Zellen zur Verfügung stehenden Übertragungskapazität für die Videoübertragung benötigt würde – wenn nicht TOoL+ eingesetzt wird. Darüber hinaus eignet sich TOoL+ auch für die (Vorab-) Übertragung von Datendiensten wie z.B. elektronischen Magazinen, Verkehrsinformationen oder Software-Updates. Auch die Fragestellung, inwiefern sich populäre Videos von Video-Portalen wie YouTube für eine Broadcast-Übertragung mit LTE-A+ eignen, wurde bereits untersucht.

Nach zahllosen grundlegenden Forschungsarbeiten implementierte das IfN TOoL+ auf Basis des ebenfalls vom IfN entwickelten Software Defined Radio (SDR). Mit SDR können komplexe datentechnische Systeme mit ihren zum Teil sehr aufwändigen Algorithmen der Signalverarbeitung realisiert werden, ohne dass es dazu spezieller Hardware bedarf. Nachdem TOoL+ dann seine Leistungsfähigkeit unter Laborbedingungen demonstrieren konnte, kam es im Rahmen zweier Feldversuche erstmalig zur Inbetriebnahme und Analyse des TOoL+-Systems unter realen Ausbreitungsbedingungen innerhalb von Rundfunknetzen. Zusammen mit den Projektpartnern TDF aus Frankreich und GatesAir aus den USA wurde TOoL+ in Paris erprobt – mit einer Ausstrahlung vom Eiffelturm. Es folgte ein Feldversuch im Aosta-Tal in Italien, gemeinsam mit dem Projektpartner, dem Forschungszentrum von Radio Italiana (Rai). Mittels der Feldversuche konnte nachgewiesen werden, dass die für den Empfang des in DVB-T2 eingebetteten LTE-A+-Signals nötigen Empfangspegel denen von „klassischen“ LTE-Übertra-



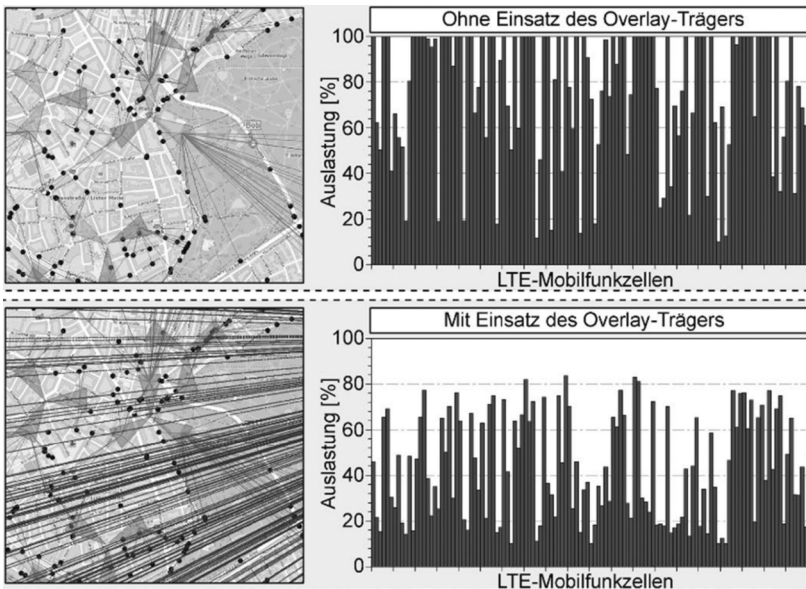


Abb. 3: Lastprofil der LTE-Mobilfunknetze im Stadtgebiet von Hannover vor Inbetriebnahme von TOoL+ (oben) und danach (Simulation)

gungen in zellularen Mobilfunknetzen entsprechen. Die zentrale Fragestellung des Feldtests, inwiefern sich die Netzabdeckung der im selben Signal ausgestrahlten Komponenten LTE-A+ und DVB-T2 unterscheiden, konnte ebenfalls beantwortet werden: Für vergleichbare Übertragungsparameter von DVB-T2 und LTE-A+ konnte eine sehr ähnliche Netzabdeckung gemessen werden.

Im Zuge der Weiterentwicklung von TOoL+ integrierte das IfN den Overlay in ein komplexes Mobilfunknetz und demonstrierte das Ergebnis im Oktober 2016 im Rahmen der Next Generation Mobile Networks Industry Conference & Exhibition (NGMN IC&E) 2016. Abbildung 3 zeigt einen Aspekt der Demonstration. Diese geht von einer realistischen Simulation eines Mobilfunknetzes in Hannover aus. Das nutzt 121 Mobilfunkzellen. Im oberen Teil der Abbildung sieht man links einen Ausschnitt aus dem Mobilfunknetz und rechts die Auslastung der einzelnen Mobilfunkzellen des Gesamtnetzes ohne TOoL+. Zahlreiche Zellen sind deshalb zu 100% ausgelastet, weil Mobilfunkkund/innen ein Video live betrachten. Im unteren Teil der Abbildung erkennt man auf der linken Seite die dunklen Linien, die die Verbindungen zwischen den Mobilfunkkund/innen und dem Overlay-Sender kennzeichnen, welche nun mit dem Live-Video durch TOoL+ versorgt werden. Auf der rechten Seite erkennt man die dramatische Entlastung der Zellen des Mobilfunknetzes.

Ein Overlay-Konzept ist auch für die derzeit in Entwicklung befindliche Folgegeneration des Mobilfunks von Interesse. Dieses System, das die fünfte Generation des Mobilfunks darstellen wird und daher als „5G“ bezeichnet wird, soll ab 2020 eingeführt werden. Die Forschung an einem „Tower Overlay over 5G (TOo5G)“ hat im IfN begonnen.

### III. Zusammenfassung

Die Mediennutzung hat in den letzten Jahren einen Wandel erlebt. Im Jahr 2016 liegt die tägliche Nutzungsdauer des Internets nach den Ergebnissen der ARD/ZDF-Onlinestudie 2016 bei 128 Minuten – erstmals über zwei Stunden. Unverändert dominiert bei den Altersgruppen oberhalb 30 Jahre zwar das klassische Fernsehen unter Nutzung des großen Fernseh-Empfängers zu Hause das Mediennutzungs-Zeitbudget, aber die Internet-Nutzung holt auf. 2016 hat das Smartphone erstmalig alle anderen Geräte und sogar den Laptop als wichtigstes Endgerät für die Internetnutzung überholt. Der Internetzugang über das Smartphone benötigt ein drahtloses Broadbandnetz.

Das Institut für Nachrichtentechnik der Technischen Universität Braunschweig erfindet Lösungen, mit denen in Zeiten der immer intensiver werdenden Belastung der Broadbandnetze durch Kooperation von Broadcast- und Broadbandnetzen die Datenflut optimal beherrscht werden kann.

### IV. Literaturverzeichnis

- [1] NEUMANN, P., J. QI, J. & U. REIMERS (2011): Dynamic Broadcast. 14<sup>th</sup> ITG Conference on Electronic Media Technology (CEMT), Elektronisch, 6 Seiten, E-ISBN: 978-3-00-033964-6.
- [2] QI, J.A. (2015): Payout System for Optimized Programme Delivery in Dynamic Broadcast. Dissertation, Braunschweig.
- [3] PALKA, P. (2017): Frequenzmanagement für die Bereitstellung von dynamischen TV White Spaces. Dissertation, Braunschweig.
- [4] NEUMANN, P. (2017): Endgeräte für Dynamic Broadcast: Modellbasierte Analyse des Einflusses von Programmdistribution und TV-Nutzungsverhalten auf den Energieverbrauch. Dissertation, Braunschweig.
- [5] JURETZEK, F & U. REIMERS (2013): Point-To-MultiPoint Overlay (P2MP) for LTE Advanced using DVB-T2 Future Extension Frames. Proceedings of the 2013 IEEE Broadcast Symposium, San Diego, USA, Elektronisch, 6 Seiten.

## Paradigmenwechsel in der Physik\*

F. JOCHEN LITTERST

Institut für Physik der kondensierten Materie der Technischen Universität Braunschweig  
Mendelssohnstraße 3, D-38106 Braunschweig, E-Mail: j.litterst@tu-braunschweig.de

*The Structure of Scientific Revolutions* von Thomas Samuel Kuhn erschien 1962 und sorgt immer wieder für kontroverse Debatten darüber, ob Fortschritte in der Wissenschaft eher kontinuierlich evolutiv, oder wie von Kuhn vorgestellt, sprunghaft erfolgen [1].

Wissenschaftler einer bestimmten Disziplin arbeiten im gegenseitigen Verständnis, dass bestimmte erarbeitete Theorien zu wichtigen Fragen aus ihrem Bereich richtig sind. Sie sind sich darüber einig, welche Methoden geeignet sind, diese Fragen zu lösen. Wissenschaftler, die diese „normale“ Wissenschaft betreiben, teilen im Kuhnschen Sinn ein Paradigma. Dies erlaubt systematisches und erfolgreiches Lösen von „Rätseln“ (Kuhn). Darstellungen dieser Paradigmen finden sich typischerweise in Lehrbüchern, wo Standardmethoden und Standardtheorien, etc. beschrieben werden. „Alte“ Paradigmen werden dort nicht oder nur beiläufig behandelt, da sie nur vom „richtigen“ Paradigma ablenken würden.

Mit der Zeit mehrten sich Abweichungen von paradigmatischen Vorhersagen, „Anomalien“ werden beobachtet, die sich mit „normaler“ Wissenschaft nicht erklären lassen. Beispiele sind die im Altertum bereits bekannten Unregelmäßigkeiten der Planetenbewegungen, die nicht mit den idealen kreisförmigen Umläufen der Himmelsphären vereinbar waren, oder im 19. Jahrhundert die unerwartet auftretende Strahlung bei Gasentladungsexperimenten, erste Hinweise, die zur „Atomphysik“ leiten sollten. Je länger eine „normale“ Wissenschaftsphase anhält, umso größer die Wahrscheinlichkeit, dass Anomalien gefunden werden. Dies kann etwa durch genauere Beobachtung, Zufälle, zuweilen auch Vorhersagen durch neue Theorien geschehen.

Sobald derartige Anomalien überhand nehmen, kommt es zur „Krise“. In dieser revolutionären Phase werden über neue Ansätze Lösungen für diese Anomalien

---

\* Zusammenfassung des Vortrags, der am 11.03.2016 vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten wurde.

gefunden, die in der ursprünglichen Paradigmenanwendung nicht möglich waren. Meist entstehen in dieser Phase neue konkurrierende Theorien; diese außergewöhnlichen Aktivitäten werden begleitet von Auseinandersetzungen. Aussondern unzutreffender und Bestätigung erfolgreicher Ansätze führt dann dazu, dass sich ein neues Paradigma herausbildet. Abschließend wird das sich als erfolgreich erwiesene, neue Paradigma von der wissenschaftlichen Gemeinschaft übernommen und eine weitere Phase stabilen Forschens („normale“ Wissenschaft) kann sich daran anschließen.

Revolutionäre Phasen, die zu neuen Paradigmen führten, sind z.B. die (in diesem Vortrag näher in ihren Ursachen und Argumenten betrachteten) Übergänge von der ptolemäischen zur kopernikanischen Astronomie (die „kopernikanische Wende“), von der aristotelischen Mechanik zu den Konzepten Galileis und Descartes' hin zur „klassischen Mechanik“ Newtons, von dort zu Einsteins Relativitätsmechanik und schließlich zur Quantenmechanik.

Diesen Paradigmenwechseln gingen teils viele Hunderte stabiler Jahre voraus, die Übergangsphasen mit wissenschaftlichen Auseinandersetzungen dauerten oft Jahrzehnte und länger (insbesondere wenn sie von theologischen Einwänden begleitet wurden).

Als Beispiel rasch und radikal erfolgter Paradigmenwechsel in der physikalischen Forschung des letzten Jahrhunderts betrachten wir die Entwicklungen auf dem Gebiet der Supraleitung, ein Musterfall, der Kuhns Thesen zu sprunghaften Entwicklungen unterstützt. Vom 1911 entdeckten exotischen Phänomen in wenigen elementaren Metallen bei Temperaturen nahe des absoluten Nullpunkts [2], über unmagnetische Legierungen hin zu besonderen Kupferoxiden, den ersten „Hochtemperatursupraleitern“ [3], und selbst eisenhaltigen Verbindungen [4] sind inzwischen technische Anwendungen bei Temperaturen des flüssigen Stickstoffs möglich. Bisheriger Höhepunkt ist die 2015 entdeckte Supraleitfähigkeit von unter hohen Drucken verfestigten Schwefelwasserstoffs nahe Raumtemperatur, was vollkommen unerwartete Anwendungsperspektiven eröffnet [5,5a].

Auch stabilisierte Paradigmen lassen Fragen offen oder werfen mit den mit ihnen verknüpften Theorien neue auf. Die 1915 von Albert Einstein vorgestellte Allgemeine Relativitätstheorie war höchst erfolgreich bei zahlreichen Vorhersagen, die in der Folge durch Beobachtungen bestätigt wurden, z.B. die Ablenkung von Sternenlicht durch große Massen (etwa der Sonne), die Periheldrehung der Merkurbahn, die Gravitationsrotverschiebung und schließlich von Eigenschaften „Schwarzer Löcher“. Eine bislang immer wieder kontrovers diskutierte und experimentell unbestätigte Vorhersage war die im Jahre 1916 erstmals aus den Feldgleichungen der Allgemeinen Relativitätstheorie abgeleitete Möglichkeit von Gravitationswellen [6]. Die intensiven Diskussionen zu Theorie und experimentellem Nachweis, insbesondere angestoßen auf der unter Gravitationsforschern berühmten Chapel Hill Conference (1957), sind nachzulesen in einer Review von

P.R. Saulson [7]. Ein erster direkter von Joseph Weber 1969 berichteter Nachweis [8], konnte nicht belastbar reproduziert werden. Ein indirekter Nachweis, der über Gravitationswellenabstrahlung verursachte Energieverlust einander umkreisender Neutronensterne wurde 1993 mit dem Nobelpreis für Russell Hulse und Joseph Taylor ausgezeichnet [9]. 2014 wurden wirbelförmige Muster in der kosmischen Hintergrundstrahlung berichtet, die von sogenannten primordialen Gravitationswellen verursacht sein könnten. Allerdings stellte sich heraus, dass kosmischer Staub unserer Milchstraße dafür verantwortlich ist [10].

Genau vier Wochen vor diesem Vortrag wurde nun erstmals über den erfolgreichen direkten Nachweis von Gravitationswellen berichtet [11]. Über zwei Detektoren des Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory (LIGO) in den USA konnten die von einem Paar kollabierender Schwarzer Löcher abgestrahlten Gravitationswellen aufgezeichnet werden. An dem internationalen Kooperationsprojekt LIGO und VIRGO (in Europa) sind 133 Institutionen in 14 Ländern mit ca. 1000 Mitarbeitern beteiligt. Die Grundlagen der Nachweisteknik (zu deren Erfolg maßgeblich die Gruppen von Karsten Danzmann am MPI für Gravitationsphysik und der Leibniz Universität Hannover beigetragen haben) sowie die Ergebnisse der Gravitationswellenexperimente werden kurz beschrieben. Die Perspektiven einer nun greifbaren Gravitationswellenastrophysik/astronomie sind weitgesteckt: Es wird möglich sein, Objekte zu beobachten, die keine elektromagnetische Strahlung emittieren und damit in die bislang unzugänglichen dunklen Teile des Universums (99%!) vorzudringen. In Kombination mit anderen Beobachtungsmethoden ist ein vollkommen neues Bild des Kosmos zu erwarten, das weiteren Aufschluss zum Ursprung der Gravitation und damit der gesamten Kosmologie geben kann. Konzepte für weltraumbasierte Gravitationsinterferometer sind vorbereitet und werden bereits getestet [12,13]. Ein neues Niveau des Verständnisses von Gravitation kann sich nun stabilisieren, wissenschaftlicher Fortschritt im Sinne von Thomas Kuhn.

## Literatur

- [1] KUHN, TH.S. (1962): *The Structure of Scientific Revolutions* – The University of Chicago Press, Chicago; 4<sup>th</sup> edition 2012.
- [2] KAMMERLINGH-ONNES, H. (1911): Communications from the Physical Laboratory of the University of Leiden **119**: 18–26 .
- [3] BEDNORZ, G. & K.A. MÜLLER (1986): – Zeitschrift für Physik B **64**: 189–193.
- [4] KAMIHARA, Y., T. WATANABE, M. HIRANO & H. HOSONO (2008): – Journal of the American Chemical Society **130**: 3296–3297.
- [5] DROZDOV, A.P., M.I. EREMETS & I.A. TROYAN (2014): Preprint at <http://arxiv.org/abs/1412.0460>.

- [5a] DROZDOV, A.P., M.I. EREMETS, I.A. TROYAN, V. KSENOFONTOV, S.I. SHYLIN (2015): – *Nature* **525**: 73–76.
- [6] EINSTEIN, A. (1916): *Sitzungsber. K. Preuss. – Akad. Wiss.* **1**: 688, *ibid.* (1918) **1**: 154.
- [7] SAULSON, P.R. (2011): – *Gen. Relativ. Gravit.* **43**: 3289–99.
- [8] WEBER, J. (1969): – *Phys. Rev. Letters* **22**: 1320–4.
- [9] [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1993/press.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1993/press.html)
- [10] <http://www.weltdrphysik.de/gebiet/astro/news/2015/staub-statt-gravitationswellen/>
- [11] ABBOTT, B.P. et al (2016): – *Phys. Rev. Letters* **116**: 061102.
- [12] ABBOTT, B.P. et al (2016): – *Living Rev. Relativity* **19**: 1–39.
- [13] <https://www.elisascience.org>

## Schulpreise und die Nürnberg-Altendorfer und Hamburger Praemien-Medaillen\*

WALTHER LUDWIG

Reventlowstr. 19, D-22605 Hamburg, E-Mail: walter.ludwig@uni-hamburg.de

Zur neuzeitlichen Schulgeschichte gehört die Geschichte der an Schüler vergebenen Prämien und Preise. Es waren seit dem 16. Jahrhundert meist Bücher oder Medaillen. Bedenken gegen derartige Auszeichnungen wurden schon im frühen 19. Jahrhundert laut. Der Rektor des Hamburger Johanneums Johannes Gurlitt ersetzte 1802 die seit 1635 an der Schule vergebenen Preismedaillen deshalb durch Bücher. Aber bis zum Ersten Weltkrieg blieben geprägte silberne Medaillen in den Schulen verbreitet.

Die Jesuiten vergaben in ihren Schulen von Anfang an zahlreiche Buchprämien. An niederländischen Gymnasien entwickelte sich die Tradition von Preisbüchern, die eigene Schulpreiseinbände mit den Stadtwappen erhielten. Auch in Frankreich und England wurden Preisbücher vergeben, in Deutschland im 19. Jahrhundert sogar in kleinen Lateinschulen. Das Spektrum des geistigen Niveaus und des Wertes dieser Bücher war immens. Es gab vom 16. – 19. Jahrhundert auch monetäre Belohnungen für gute Leistungen.

Silberne Medaillen mit allegorischen Darstellungen wurden zuerst in der Reichsstadt Nürnberg ab 1577 für ihr Gymnasium in Altdorf hergestellt und verwendet. Es gab in Größe und Gewicht sich steigende Medaillen für die jüngeren und älteren Schüler. Jedes Jahr wurden neue allegorische Darstellungen jeweils mit einem Motto geprägt. Es sind emblematische Bilder. Ihre Erfindung ging auf die Brüder Camerarius zurück. Philipp war Prokanzler des 1578 zur Akademie erhobenen Gymnasiums, sein Bruder, der Arzt Joachim, gab mehrere emblematische Bücher zum Druck. Die allegorisch-emblematischen Altdorfer Prämienmedaillen entstanden aus dem Geist des von Emblemen begeisterten Nürnberger Humanismus und vor allem durch die Anregungen und Initiativen der genannten Brüder Camerarius. Nach der Überreichung der Medaille bei einem Schulfest

---

\* Kurzfassung des Vortrags, der am 08.04.2016 vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten wurde.

mußte jeweils ein Schüler in einer Rede die Bedeutung des erhaltenen Emblems erklären, und diese Reden wurden auch gedruckt.

So wurden sie Joachim Jungius bekannt, der 1629 zum Rektor des Hamburger Johanneums und des ihm angeschlossenen Akademischen Gymnasiums ernannt wurde. Er überreichte 1634 noch eine monetäre Belohnung und 1635 bei einer Versetzungsfeier des Johanneums erstmals zwei silberne, vom Hamburger Senat in Auftrag gegebene und gestiftete Medaillen mit je einer emblematischen Darstellung, deren Bedeutung Jungius in einer Rede erklärte. Daß er sich damit der Nürnbergischen Tradition in Altdorf anschloß, wird dadurch bewiesen, daß beide Hamburger Medaillen emblematische Bilder der Altdorfer Medaillen leicht abgewandelt übernahmen. Diese Medaillenbilder wechselten aber nicht wie in Altdorf jährlich, sondern wurden bis 1763 immer wieder mit dem gleichen Druckstempel geprägt. Erst 1764 wurden auf Wunsch des Scholarchats zwei neue Bilder und Aufschriften geprägt, die dann bis 1802 am Johanneum verwendet wurden.

Die von Jungius für jüngere Schüler gewählte Medaille mit einem Durchmesser von ca. 30 mm zeigte den Parnaß, den ein junger Mann zu erklimmen sucht, auf den oben ein Lorbeerkrantz wartet. Die Umschrift lautet: *PRECIBUS PATET ET LABORI*. „Durch Gebete und Arbeit gelangt man zum Gipfel“. Das erinnert an den Benediktinerspruch *ORA ET LABORA*. Die größere Medaille für ältere Schüler hatte einen Durchmesser von ca. 35 mm. Sie zeigte ein von zwei Olivenzweigen begleitetes Schwert, das von einer Hand gehalten wird, an der ein Buch hängt. Die Umschrift lautet: *BELLI PACISQUE MINISTRAE*. „Dienerinnen im Krieg und Frieden“, d.h. die Wissenschaften, die durch das Buch repräsentiert werden, dienen und helfen in jeder Lebenssituation. Beide Medaillen dienten also als Ansporn für höhere schulische Leistungen. Die bisher unbekannte Übernahme von Nürnbergischen Themen und Darstellungen für die Hamburger Schule zeigt, wie sich die Sitte emblematischer Schulpreismedaillen in Deutschland ausbreitete.

Die komplexen Embleme wurden im 18. und 19. Jahrhundert oft durch leichter verständliche symbolische Gegenstände abgelöst: Bienen, brennende Öllampen oder ein Helm der Athena konnten Fleiß, nächtliche Arbeit oder Wissenschaften versinnbildlichen. Die Städte ließen sich den Ansporn und die Belohnung ihrer Schüler etwas kosten. Die immer silbernen Medaillen hatten einen Metallwert von bis zu einem halben Taler, und nicht nur ein Schüler einer Klasse wurde so ausgezeichnet, sondern oft mehrere, manchmal alle, die in eine höhere Klasse versetzt worden waren. Die Pädagogikgeschichte hat auf dieses schulische Prämienwesen noch wenig geachtet.



## **Migration des Menschen aus geowissenschaftlicher Perspektive\***

ANTJE SCHWALB

Institut für Geosysteme und Bioindikation, Langer Kamp 19c, D- 38106 Braunschweig, E-Mail: antje.schwalb@tu-bs.de

Die Geowissenschaften machen sich Informationen über die Geschichte des Geosystems zunutze, um zukünftige, mögliche Änderungen besser zu verstehen und um Handlungsoptionen ableiten zu können. Von besonderem Interesse ist dabei, die Zusammenhänge zwischen Klima, Umwelt und Mensch zu rekonstruieren. Geoarchive wie z.B. Eiskerne, Speleotheme, marine und kontinentale Sedimente erlauben einen detaillierten Blick in vergangene Klima- und Umweltbedingungen. Seesedimente kommt dabei eine besondere Beachtung zu; sie zeichnen sich meist durch hohe Sedimentationsraten und damit eine hohe zeitliche Auflösung aus und kamen im direkten Umfeld des Menschen, der von jeher bevorzugt in der Nähe von oder an Seeufern siedelte, zur Ablagerung.

Welche Informationen können diese Sedimente nun über vergangene Umweltbedingungen und möglicherweise über die Wanderwege des Menschen bereitstellen? Seesedimente liefern ganz konkret Informationen über die Humidität in der Vergangenheit; ihre bloße Präsenz zeugt vom Vorhandensein von Wasserkörpern, die den Menschen mit der Ressource Wasser versorgt haben. Entlang dieser Wasserkörper hat er sich auch verbreiten können.

### **Ostafrika – letzte 5 Mio Jahre**

Möglicherweise trug die hohe Umweltvariabilität, hervorgerufen durch Rifting-Prozesse und der Bildung von Seen, mit großen Höhen- und Niederschlagsgradienten und einer damit verbundenen vielfältigen Vegetation im Osten Afrikas, zur Zunahme des Gehirnvolumens, zur Speziation und schlussendlich zum Auszug der Hominiden aus Afrika bei.

---

\* Der Vortrag wurde am 10.06.2016 vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

Anhand von Seesedimenten rekonstruierte hohe Seespiegel korrelieren z.B. mit der Hominiden-Diversität (Maslin et al., 2014) und dem Erdbahnparameter Präzession. Ein langfristiger Trend zu einem trockeneren Klima war gekennzeichnet durch eine Unterbrechung von Episoden kurzzeitiger, abwechselnd humider und arider Perioden. Schlussendlich war das Auftauchen der Gattung Homo gekoppelt an einen Wechsel zu mehr Grasland (Maslin et al., 2014). Hominiden mit Vorliebe für Mischkost waren dabei ganz klar im Vorteil, da sie anpassungsfähiger an eine sich ändernde Umwelt waren.

### **Der Auszug des modernen Menschen aus Ostafrika – letzte 150.000 Jahre**

Ungeklärt ist bisher, wann der moderne Mensch Afrika verließ und welche Route er dabei bevorzugte. Bisher wurde angenommen, dass der moderne Mensch vor 60.000 Jahren von Ostafrika nach Norden und entlang des Mittelmeeres in Richtung Europa und Asien zog. Die 100.000-125.000 Jahre alten Steinwerkzeuge, die bei Jebel Faya im Osten der Arabischen Halbinsel gefunden wurden, sprechen jedoch dafür, dass der moderne Mensch bereits früher aus Afrika ausgezogen sein musste und dabei möglicherweise eine andere Route genommen hatte (Rosenberg et al., 2011), und zwar durch die Rub' al Khali Wüste im südlichen Saudi-Arabien. Dort gibt es Reste von Seesedimenten, in denen z.B. Schalen von Muschelkreb, Schnecken und Muscheln mehrere Feuchtphasen während der letzten 150.000 Jahre und eine von Seen geprägte Landschaft anzeigen. Die Arabische Halbinsel war vor ca. 125.000, 100.000 und 80.000 Jahren feuchter als heute, von Pflanzen bewachsen, durch Seen charakterisiert und von Flüssen durchzogen, und damit ein ideales Transitgebiet. Der moderne Mensch hätte hier Rastplätze während multipler Auswanderungsphasen vorgefunden und hätte sich damit, früher als bisher angenommen, über diese Route ziehen können. Auch die Meerenge Bab al-Mandab erlaubte zu Beginn des letzten Interglazials einen sicheren Übergang (Rosenberg et al., 2011).

### **Das Jahr ohne Sommer – 1816**

Eine kurzfristige Klimaabkühlung, möglicherweise zu kurzfristig, um in Seesedimenten nachgewiesen werden zu können, ereignete sich in jüngerer Vergangenheit vor rund 200 Jahren durch einen geologischen Anlass: Am 10.04.1815 brach in Indonesien der Vulkan Tambora aus. Seine in die Atmosphäre eingetragenen Auswurfprodukte sorgten durch Streuung der Sonnenstrahlen für farblich intensive Sonnenauf- und untergänge, die einige Gemälde aus der Biedermeierzeit charakterisieren, und vor allem für eine Abkühlung der Temperatur um 2-3°C insbesondere in West- und Südeuropa, weshalb das Jahr 1816 als das Jahr ohne Sommer in die Geschichte einging.

Der Vulkanausbruch ereignete sich zu einem denkbar ungünstigen Zeitpunkt; Europa war nach langen Kriegsjahren gegen Frankreich geschwächt, es kam zu Ernteausfällen und Hungersnot, und infolge wirtschaftlicher Not zu Auswanderungswellen nach Nord- und Südamerika, offenbar gut organisiert durch „Auswanderungsagenten“, sowie nach Südosteuropa. Die Not dieser Zeit führte aber auch zu Innovationen wie z.B. der Entwicklung des Mineraldüngers durch Liebig, der Draisine, dem Aufbau der Württembergischen Sparkassen und der Universität Hohenheim.

Die Vergangenheit bestätigt, dass Migration fester Bestandteil unserer Entwicklung ist und man sie auch als Chance begreifen kann. In prähistorischen Zeiten fand zwar noch keine zielgerichtete Migration wie heute statt, aber auch damals sind wir ausgezogen, um unsere Neugier zu stillen oder um neue Existenzen zu sichern.

### Literaturhinweise

JENNINGS, R.P., J. SINGARAYER, E.J. STONE, U. KREBS-KANZOW, V. KHON, K.H. NISANCIOGLU, M.H. PFEIFFER, Z. XU, A. PARKER, A. PARTON, H.S. GROU-CUTT, T.S. WHITE, N.A. DRAKE & M.D. PETRAGLIA (2015): The greening of Arabia: Multiple opportunities for human occupation of the Arabian Peninsula during the Late Pleistocene inferred from an ensemble of climate model simulations. – *Quaternary International* **382**: 181–199.

MASLIN, M.A., C.M. BRIERLEYA, A.M. MILNERA, S. SHULTZ, M.H. TRAUTH & K.E. WILSOND (2014): East African climate pulses and early human evolution. – *Quaternary Science Reviews* **101**: 1–17.

ROSENBERG, T., F. PREUSSER, D. FLEITMANN, A. SCHWALB, K. PENKMAN, T.W. SCHMID, M.A. AL-SHANTI, K. KADI & A. MATTER (2011): Humid Periods in Southern Arabia: Windows of Opportunity for Modern Human Dispersal. – *Geology* **39**(12): 1115–1118. DOI: 10.1130/G32281.1

## **Die Bewältigung des Atomausstiegs\*** **- Rechtliches und Politisches -**

GUNTHER KÜHNE

TU Clausthal, Institut für deutsches und internationales Berg- und Energierecht,  
Arnold-Sommerfeld-Straße 6, D-38678 Clausthal-Zellerfeld  
E-Mail: [gunther.kuehne@tu-clausthal.de](mailto:gunther.kuehne@tu-clausthal.de)

### **I. Einleitung: Der Stand des deutschen Atomausstiegs und dessen rechtliche „Baustellen“**

1. Das Jahr 2016 ist für den Fortgang des deutschen Atomausstiegs von herausragender Bedeutung. Dies gilt insbesondere auch für die Bewältigung der rechtlichen Probleme, welche sich sowohl auf die Ausstiegsgesetzgebung selbst als auch auf die mit dem Ausstieg verbundenen Folgefragen beziehen. Auslösendes gesetzgeberisches Moment für den seit fünf Jahren im Vollzug befindlichen Atomausstieg ist die 13. Atomgesetznovelle vom 31.07.2011.<sup>1</sup> Sie zieht die Konsequenzen aus dem Unglück, welches am 11.03.2011 in drei Reaktoren des Kernkraftwerks Fukushima-Daiichi (Japan) als Folge des Zusammenwirkens eines starken Erdbebens und eines darauf folgenden Tsunami zu einer sog. Kernschmelze führte. Wesentlicher Inhalt des sog. Ausstiegsgesetzes von 2011 war es, den 8 ältesten Kernkraftwerken in Deutschland mit sofortiger Wirkung die Genehmigung zum Leistungsbetrieb zu entziehen, nachdem sie bereits Mitte März 2011 aufgrund behördlicher Anordnung vorläufig ihren Betrieb eingestellt hatten. Für die übrigen 9 Reaktoren sieht das Gesetz eine stufenweise Stilllegung innerhalb von 11 Jahren bis spätestens 31.12.2022 vor. Innerhalb dieser Stufenfolge ist das Kernkraftwerk Grafenrheinfeld bereits am 27.06.2015 vom Netz genommen worden. Bei aller gegenwärtigen Umstrittenheit der Energiepolitik, insbesondere über Umfang und Art der Förderung erneuerbarer Energien, herrscht in Deutschland ein po-

---

\* Überarbeitete und durch Fußnoten ergänzte Fassung des am 09.07.2016 vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft (BWG) in Clausthal-Zellerfeld gehaltenen Vortrages. Nachfolgende Entwicklungen und Ereignisse sind in Fußnoten berücksichtigt worden.

<sup>1</sup> Bundesgesetzblatt (BGBl.) Teil I, S. 1704.

litischer Konsens darüber, jedenfalls an dieser Entscheidung zum vollständigen Atomausstieg festzuhalten. Damit ist Deutschland das einzige bedeutende Industrieland, das sich vollständig von der Kernenergie verabschiedet.

Im Unterschied hierzu gehen bereits innerhalb der EU die Einstellungen zur Nutzung der Kernenergie deutlich auseinander. So sind z.B. in Großbritannien (Hinkley Point)<sup>2</sup> und in mehreren osteuropäischen Ländern neue Kernreaktoren in der Planung oder im Bau, von Russland ganz zu schweigen. Frankreich hat die bei Amtsantritt von Präsident Hollande beschlossene Reduzierung des Kernenergieanteils an der Stromproduktion von 75 % auf 50 % inzwischen wieder ausgesetzt und auf die Zeit nach 2019 verschoben.<sup>3</sup>

Einen z.T. erheblichen Ausbau der Kernenergie planen die USA.<sup>4</sup> Noch ausgreifender sind die Planungen in China und Indien, dort insbesondere in Gestalt des Ausbaus von Schnellen Brutreaktoren. Hintergrund ist auf der einen Seite die fortschreitende Erkenntnis der Dringlichkeit, die CO<sub>2</sub>-Emissionen zu verringern, und auf der anderen Seite die Unmöglichkeit, die für die Wachstumsziele benötigten Energiemengen mit erneuerbaren Energien zu erzeugen.<sup>5</sup> Auch die EU-Kommission scheint die Abkehr von der Atomenergie jedenfalls nicht in vollem Umfang mitzuvollziehen, wie jüngst an die Öffentlichkeit gelangte Arbeitspapiere über die Förderung von modularen Mini-Atomreaktoren zeigen.<sup>6</sup>

Diese in großen Teilen positive Einstellung zur Kernenergie ist insofern erstaunlich, als die Meldungen über im Gange befindliche Neubauvorhaben wie z.B. die Vorhaben zum Bau einer neuen Generation von Druckwasserreaktoren im französischen Flamanville und im finnischen Olkiluoto alles andere als ermutigend sind. Die dabei aufgetretenen z.T. massiven Schwierigkeiten und Verzögerungen beziehen sich sowohl auf technische Probleme als auch auf aus dem Ruder laufende Finanzierungsrahmen. Auch unter Berücksichtigung dieser der Kernenergie z.T. durchaus günstigen Weltentwicklung muss man in Deutschland wohl von der Endgültigkeit des Ausstiegs ausgehen. Für Deutschland dürfte es ausschließlich um die Bewältigung des beschlossenen Ausstiegs gehen.

---

<sup>2</sup> Vgl. FAZ v. 16.09.2016, S. 15 („London beschließt kräftigen Nuklearausbau“).

<sup>3</sup> Vgl. FAZ v. 15.04.2016, S. 15 („Frankreich verschiebt den Ausstieg aus der Kernenergie“). Auch die Schweizer Bevölkerung hat in einer Volksabstimmung am 27.11.2016 eine Beschleunigung des grundsätzlich beschlossenen Atomausstiegs abgelehnt, vgl. FAZ v. 28.11.2016, S. 19 („Schweizer lehnen den schnellen Atomausstieg ab“).

<sup>4</sup> Diese Tendenz kann sich unter der Trump-Administration noch deutlich verstärken.

<sup>5</sup> Selbst Japan steigt wieder in die Kernkraft ein, vgl. FAZ v. 30.09.2016, S. 24 („Kernkraft ist wieder im Kommen“).

<sup>6</sup> Vgl. dazu Chr. Seidler/St. Schulz, Spiegel-Online vom 21.05.2016 („Angriff der Atomzwerge“).

2. An rechtlichen Problemkomplexen (rechtlichen „Baustellen“) im Zusammenhang mit dem Atomausstieg herrscht kein Mangel.<sup>7</sup> Zeitlich und räumlich spielen sie auf unterschiedlichen Ebenen. Ganz gegenwärtig geht es um die Fragen der Rechtmäßigkeit des deutschen Ausstiegsgesetzes von 2011. Im Zentrum dieses Komplexes steht die Frage der Verfassungsmäßigkeit, über die das BVerfG zu urteilen hat.<sup>8</sup> Ein Nebenkriegsschauplatz ist die internationale Schiedsgerichtsbarkeit, nachdem Vattenfall als schwedisches, also ausländisches, Unternehmen die Bundesrepublik Deutschland vor dem Internationalen Schiedsgericht zur Beilegung von Investitionsstreitigkeiten (ICSID) in Washington auf Entschädigungszahlungen verklagt hat. Ein weiteres, zukunftsgerichtetes Problemfeld stellt die finanzielle Gewährleistung und Sicherung der Entsorgung dar, was insbesondere den Rückbau der Anlagen, deren Stilllegung sowie die Zwischen- und Endlagerung der radioaktiven Abfälle einschließt. Die Brisanz dieser Fragen hat sich in neuerer Zeit insbesondere als Folge der durch die Energiewende stark verschlechterten wirtschaftlichen Lage der großen Stromkonzerne und damit auch in deren Funktion als Betreiber von Kernkraftwerken (E.ON, RWE) stark erhöht. Ein Teilaspekt dieses Komplexes sind die gesetzgeberischen Bemühungen, durch Änderungen im Gesellschaftsrecht zu verhindern, dass die Unternehmen die für die Entsorgung zur Verfügung stehende Haftungsmasse im Wege der Unternehmensaufspaltung, wie sie jetzt durchgeführt (E.ON, Uniper) oder geplant (RWE, Innogy) ist, verkürzen (sog. Problem der Nachhaftung).

Ein weiteres, weit in die Zukunft – wohl in das nächste Jahrhundert – reichendes Themenfeld bildet schließlich die Endlagerung der radioaktiven Abfallstoffe, also die Erkundung, Errichtung, der Betrieb und ganz am Ende die Stilllegung eines Endlagers. Für den Bereich der schwach- und mittlerradioaktiven Abfälle besteht bereits ein höchstrichterlich und rechtskräftig ausgeurteilter Endlagerstandort in Gestalt von Schacht Konrad.<sup>9</sup> Er wird gegenwärtig umgerüstet, soll allerdings erst frühestens 2022 in Betrieb genommen werden. Für hochradioaktive Abfälle geht es nach der Aufgabe von Gorleben um eine erneute Standortsuche, also einen vollständigen Neubeginn.

---

<sup>7</sup> Die mit dem Atomausstieg zusammenhängenden Fragen werden umfassend in dem jüngst erschienenen Band von *M. Ludwigs* (Hrsg.), *Der Atomausstieg und seine Folgen*, Bd. 6 der „Schriften zum Deutschen und Europäischen Infrastrukturrecht“, 2016, behandelt.

<sup>8</sup> Dies ist mit dem Urteil des 1. Senats vom 06.12.2016 – Az.: 1 BvR 2821/11, 1 BvR 321/12, 1 BvR 1456/12 – geschehen, vgl. dazu unten II. Das Urteil ist abgedruckt in *Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht* (NVwZ) 2017, Beil. 1, S. 9 ff.; Besprechung ebenda, S. 3 ff., durch *M. Ludwigs*.

<sup>9</sup> Die einschlägigen Entscheidungen des Bundesverwaltungsgerichts (BVerwG) vom 26.3.2007 – 7 B 72/06, 7 B 73/06 und 7 B 74/06 – sind veröffentlicht in: NVwZ 2007, S. 833 – 844.

## II. Der Atomausstieg vor dem Bundesverfassungsgericht (BVerfG)

Am 15. und 16. März 2016 fand vor dem 1. Senat des BVerfG in einem der aufwendigsten Verfahren seiner Geschichte die mündliche Verhandlung über die Verfassungsbeschwerden der E.ON AG, der RWE AG und der Vattenfall AG als Kernkraftwerksbetreiber über die Vereinbarkeit des Ausstiegsgesetzes von 2011 mit dem Grundgesetz (GG) statt. Dabei ging es vor allem um die Vereinbarkeit mit Art. 14 GG, der die grundrechtliche Gewährleistung des Eigentums enthält. Die beschwerdeführenden Unternehmen vertreten die Auffassung, mit dem Ausstiegsgesetz 2011 und der dort geregelten Beendigung der Berechtigung der Betreiber zum Betrieb ihrer Kernkraftwerke bis spätestens Ende 2022 habe der Gesetzgeber gegen die Eigentumsgarantie verstoßen. Nach Art. 14 Abs. 1 S. 1 GG wird das Eigentum gewährleistet. Satz 2 ergänzt diese Garantie durch den Zusatz, dass „Inhalt und Schranken [des Eigentums] durch die Gesetze bestimmt werden“. Ferner legt Art. 14 Abs. 3 GG in Satz 1 fest, dass „eine Enteignung nur zum Wohle der Allgemeinheit zulässig ist“ und Satz 2 ordnet an, dass sie nur durch Gesetz oder auf Grund eines Gesetzes erfolgen darf, das „Art und Ausmaß der Entschädigung regelt“. Das Ausstiegsgesetz von 2011 enthält eine solche Entschädigungsregelung nicht. Dies ist der entscheidende Ansatzpunkt für die beschwerdeführenden Unternehmen. Nach deren Auffassung stellt das gesetzlich angeordnete Verbot des Weiterbetriebs der Kernanlagen eine Verletzung der Eigentumsgarantie dar, da es sich bei dem Eingriff um eine Enteignung handle, die nur gegen Entschädigung zulässig sei, während die Bundesregierung in der Laufzeitbegrenzung nur eine grundsätzlich entschädigungslos zulässige Eigentumsschranke sieht. Mit ihrer Argumentation wird deutlich, dass es auch den Unternehmen nicht um eine Rückgängigmachung des Atomausstiegs geht, sondern um eine Entschädigung. Die in diesem Zusammenhang genannten Summen belaufen sich auf bis zu 15 Mrd. Euro.<sup>10</sup> Eines der kernkraftwerksbetreibenden Unternehmen, die Energie Baden-Württemberg (EnBW), hatte – auf den ersten Blick überraschend – keine Verfassungsbeschwerde eingelegt. Dies hängt damit zusammen, dass nach der ständigen Rechtsprechung des BVerfG<sup>11</sup> Grundrechte nur solchen juristischen Personen, also etwa Aktiengesellschaften, zustehen, die zumindest mehrheitlich in privater Hand sind. EnBW befindet sich jedoch mehrheitlich im Eigentum von Landkreisen und Kommunen. Hintergrund der Auffassung, von der öffentlichen Hand beherrschten Unternehmen stehen keine Grundrechte zu, ist die Vorstellung, dass gegen den Staat gerichtete Grundrechte ihrem

<sup>10</sup> Die genauen Zahlen sind nicht veröffentlicht worden, da es im Verfassungsbeschwerdeverfahren um die Verfassungswidrigkeit der Laufzeitbegrenzung und noch nicht um deren einklagbare Entschädigungsfolgen geht.

<sup>11</sup> S. die Entscheidungen des BVerfG vom 16.5.1989 – 1 BvR 705/88 – und vom 28.5.2009 – 1 BvR 1731/05 – in: Juristenzeitung (JZ) 1990, 335, bzw. JZ 2009, 271, beide jeweils m. Anmerkung v. G. Kühne, aaO.

Sinne nach nur privaten Rechtsträgern, nicht aber Teilen der Staatsorganisation selbst zustehen können. Gegen diese Auffassung kann man durchaus Bedenken haben, da sie im Ergebnis zu Ungleichheiten zwischen Wettbewerbsteilnehmern führt. Möglicherweise werden wir dazu etwas Näheres vom BVerfG bezüglich der Verfassungsbeschwerde von Vattenfall erfahren: Vattenfall ist 1. ein Staatsunternehmen und 2. ein ausländisches Unternehmen eines EU-Mitgliedstaats. Art. 19 Abs. 3 GG gewährt Grundrechte aber nur inländischen juristischen Personen.<sup>12</sup>

Nach dem bisher Gesagten scheint sich das juristische Problem auf die Alternative zuzuspitzen: Stellt die gesetzliche Laufzeitbegrenzung nur eine „Schranke des Eigentums“ i.S. von Art. 14 Abs. 1 GG dar, die unbestritten grundsätzlich ohne Entschädigung hinzunehmen ist, oder handelt es sich um eine entschädigungspflichtige „Enteignung“ i.S. des Art. 14 Abs. 3 GG? Diese klare Frontstellung wird jedoch durch eine Reihe von Faktoren nuanciert, die im Folgenden nur als Fragen aufgeworfen werden können.

Eine zentrale Frage ist die nach dem Umfang der Eigentumspositionen, in die das Ausstiegsgesetz von 2011 eingegriffen hat. Hierzu muss man die Entwicklung des Atomrechts seit 2000 in den Blick nehmen. Zur Zeit der Erteilung der atomrechtlichen Genehmigungen im vorigen Jahrhundert waren diese nach dem Gesetz unbefristet. Dies hat sich erst mit der Atomnovelle 2002 geändert. In einer Vereinbarung zwischen der Bundesregierung und den AKW-Betreibern,<sup>13</sup> die dann in die Atomnovelle 2002<sup>14</sup> übernommen wurde, begrenzte die rot-grüne Koalition die Laufzeiten der Kernkraftwerke; dies jedoch nicht nach festen befristeten Zeiträumen, sondern nach Reststrommengen für jedes AKW. Eine weitere Flexibilisierung folgte aus der Möglichkeit, unter bestimmten Voraussetzungen Reststrommengen von einem AKW auf ein anderes zu übertragen. Dadurch ergab sich kein zeitlich fixiertes Ende der Restlaufzeiten. Als Folge des Vereinbarungscharakters fanden auch keine Gerichtsverfahren statt. Aus heutiger Sicht erscheint die der gesetzlichen Regelung vorangegangene Ausgestaltung des damaligen Ausstiegs als Vereinbarung aus Unternehmenssicht als strategischer Fehler. Die Unternehmen hatten sich darauf offenbar auch in der Erwartung eingelassen, dass durch die Bundestagswahl 2002 wieder eine kern-

<sup>12</sup> In seinem Urteil vom 06.12.2016, oben Fn. 8, hat das BVerfG die Zulässigkeit der Verfassungsbeschwerde von Vattenfall bejaht. Das Gericht begründet dies damit, dass es bei anderer Auffassung für Vattenfall keine Möglichkeit gäbe, in Deutschland gegenüber diesem unmittelbar wirkenden gesetzlichen Eingriff der Laufzeitbeendigung Rechtsschutz zu erlangen. Dies würde gegen das europarechtlich geschützte Prinzip der Niederlassungsfreiheit verstoßen, BVerfG, aaO., Rn. 196 ff.

<sup>13</sup> „Vereinbarung zwischen der Bundesregierung und Energieversorgungsunternehmen“ vom 14.6.2000.

<sup>14</sup> „Gesetz zur geordneten Beendigung der Kernenergienutzung zur gewerblichen Erzeugung von Elektrizität“ vom 22.4.2002 (BGBl. I S. 1351).



energiefreundliche Regierung an die Macht kommen würde. Dies geschah dann allerdings erst nach der Bundestagswahl 2009. Nicht unerwartet wurden denn auch im Dezember 2010 die Laufzeiten von 2002 um durchschnittlich 12 Jahre verlängert.<sup>15</sup> Es wurden entsprechende Strommengen neu zugeteilt; eine Jahreszahlbegrenzung enthielt auch diese Novelle nicht.

Schon diese Vorgeschichte zeigt, dass sich der Umfang der Nutzbarkeit des Eigentums an den Kernenergieanlagen und das berechtigte Vertrauen der Betreiber in die Beständigkeit der Rechtslage im Jahre 2011 stark relativiert hatten. Von der Entscheidung des BVerfG wird insbesondere erwartet, dass sie eine Klärung zum Begriff der Enteignung herbeiführt. Teilweise wird hier bislang verlangt, dass dem Entzug des Eigentums beim Betroffenen ein Eigentumszuwachs des Staates gegenübersteht (Enteignung als sog. Güterbeschaffungsvorgang). Vielfach ließ man aber auch einen bloßen Entzug des Eigentums genügen.<sup>16</sup> Der Streit wird dadurch etwas entschärft, dass in der Rechtsprechung des BVerfG seit längerem reine Eigentumsentziehungen oder schwere -beeinträchtigungen ohne entsprechenden Vermögenszuwachs auf staatlicher Seite dann als Grundlage für Entschädigungsansprüche anerkannt werden, wenn die Beeinträchtigung so schwerwiegend ist, dass ihre Verhältnismäßigkeit nur durch Zuerkennung einer Entschädigung gewahrt wird (sog. entschädigungspflichtige Inhalts- und Schrankenbestimmung).<sup>17</sup>

Wie sich leicht vorstellen lässt, kann man über diese Fragen sehr lange debattieren. Die mündliche Verhandlung vor dem BVerfG hat den Eindruck vermittelt, dass nicht mit einer harten Alles-oder-Nichts-Entscheidung zu rechnen ist. Wahrscheinlich wird es darauf ankommen, inwieweit Betreiber sich nach der Laufzeitverlängerung 2010 durch Vermögensdispositionen auf diese eingerichtet haben. Sind solche Investitionen infolge des Ausstiegsgesetzes 2011 nutzlos geworden, können sich Entschädigungsansprüche ergeben.<sup>18</sup> So soll z.B. Vattenfall 700 Mio. EUR im Hinblick auf Sicherheitsanforderungen in die seit 2007 stillstehenden Kraftwerke Krümmel und Brunsbüttel investiert haben.<sup>19</sup>

---

<sup>15</sup> BGBl. 2010 I, S. 1814.

<sup>16</sup> In seinem Urteil vom 06.12.2016, oben Fn. 8, hat das BVerfG jetzt das Vorliegen eines Güterbeschaffungsvorgangs eindeutig zu einem Wesensmerkmal einer Enteignung erklärt, Rn. 248.

<sup>17</sup> Vgl. das Urteil des BVerfG vom 6.12.2016, oben Fn. 8, Rn. 258 ff.

<sup>18</sup> Das BVerfG hat in seinem Urteil vom 06.12.2016 Entschädigungsansprüche für zwei Fallkonstellationen anerkannt: ( 1 ) Die kernkraftbetreibenden Unternehmen können infolge der gesetzlichen Festlegung der Restlaufzeiten ihrer Anlagen substantielle Teile der ihnen im Jahre 2002 zugewiesenen Reststrommengen nicht konzernintern ausnutzen; ( 2 ) Die Unternehmen haben infolge des Fehlens von Übergangsfristen, Entschädigungsklauseln oder sonstigen Ausgleichsregelungen Vermögensverluste durch Entwertung von Investitionen in Kernkraftwerke als Folge der Streichung der im Jahre 2010 zugeteilten Zusatzstrommengen erlitten, Rn. 310 ff. bzw. 292 ff.

<sup>19</sup> So die Angaben bei *M. Ludwigs*, Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht (NVwZ) 2016, S. 1 ( 3 ).

### III. Der Atomausstieg in der internationalen Schiedsgerichtsbarkeit (Fall *Vattenfall*)

Wenden wir unseren Blick nun nach Washington. Vor dem dort ansässigen und bei der Weltbank angesiedelten ICSID-Schiedsgericht hat das Unternehmen Vattenfall die Bundesrepublik Deutschland im Jahre 2012 auf Zahlung von 4,7 Mrd. Euro wegen der mit dem Atomausstieg verbundenen Vermögenseinbußen (Stilllegung der AKWs Krümmel und Brunsbüttel) verklagt. Dieser Rechtsstreit entfaltet offenbar traumatische Wirkung in der aktuellen Diskussion um das TTIP-Freihandelsabkommen, in der er die Funktion eines Schreckgespensts übernommen hat. Worum geht es? Grundlage des Vorgehens von Vattenfall ist der Energiechartavertrag (EnCV).<sup>20</sup> Dabei handelt es sich um ein völkerrechtliches Vertragswerk mit über 50 Vertragsstaaten zur Förderung internationaler Energieinvestitionen und des Energiehandels. Ein wesentliches Element bilden Regelungen zum Schutz von Energieinvestitionen. Dazu gehört auch die Eröffnung von Rechtsschutzmöglichkeiten für ausländische Investoren gegen Vertragsstaaten im Falle von Rechtsverletzungen.

Eine der durch Art. 26 EnCV eröffneten Rechtsschutzmöglichkeiten ist die Einleitung eines Schiedsverfahrens bei dem Schiedsgericht zur Beilegung von Investitionsstreitigkeiten (ICSID), welches bei der Weltbank angesiedelt ist.

Der Fall *Vattenfall* zeigt sehr gut die Doppelgesichtigkeit von solchen Investitionsschutzregelungen. Der Energiechartavertrag ist nach dem Zusammenbruch des Ostblocks im Jahre 1994 zum Zwecke der Förderung von Investitionen insbesondere westlicher Industriestaaten in die marode Energieinfrastruktur in den ehemaligen Ostblockstaaten abgeschlossen worden. Die westlichen Staaten drängten seinerzeit auf die Aufnahme sog. Investitionsschutzklauseln in die Charta insbesondere gegenüber befürchteten willkürlichen Enteignungen seitens der Investitionsstaaten. Kaum jemand hat sich damals vorgestellt, dass der Energiecharta-Vertrag auch als Instrument für Klagen unter EU-Mitgliedstaaten fungieren kann. Diese Besonderheit hat denn auch zu Zweifeln an der Zuständigkeit des Schiedsgerichts im Falle *Vattenfall* geführt.<sup>21</sup> Das Schiedsgericht scheint jedoch zur Annahme seiner Zuständigkeit zu neigen.<sup>22</sup>

<sup>20</sup> Vertrag über die Energiecharta (Anlage 1 zur Schlussakte der Europäischen Energierechtskonferenz) vom 17.12.1994; die Schlussakte der Europäischen Energiechartakonferenz von Lissabon mit dem darin enthaltenen EnCV ist veröffentlicht in BGBl Teil II, 1997, S. 5.

<sup>21</sup> Die EU-Kommission vertritt den Standpunkt, dass die Anwendbarkeit des EnCV im Verhältnis zwischen EU-Mitgliedstaaten ausgeschlossen ist, vgl. zum Problem *M. Ludwigs*, oben Fn. 19, S. 5.

<sup>22</sup> Dieser Anschein hat sich durch die mündliche Verhandlung in der Schiedssache in diesem Falle verstärkt. Die mündliche Verhandlung hat vom 10. – 21.10.2016 in Washington stattgefunden. Den Parteien ist Gelegenheit zur Einreichung weiterer Schriftsätze bis 01.03.2017 gegeben worden.

Für die materielle Begründetheit der Klage, also in der Sache, kommt es insbesondere auf zwei Gesichtspunkte an: Handelt es sich bei den deutschen Maßnahmen zum Atomausstieg um indirekte Enteignungen i.S. von Art. 13, deren Anforderungen wohl etwas niedriger sind als nach deutschem Verfassungsrecht? Hat Deutschland gegen den in Art. 10 Abs. 1 Energiecharta-Vertrag festgelegten Standard der fairen und gerechten Behandlung (fair and equitable treatment) verstoßen? Die Praxis des ICSID-Schiedsgerichts ist hier sehr stark einzelfallbezogen und demnach schwer voraussehbar.<sup>23</sup> Es ist allerdings gut vorstellbar, dass, wenn *Vattenfall* den Nachweis erbringen kann, dass konkrete Aufwendungen für Investitionen durch die Ausstiegsmaßnahmen frustriert worden, also nutzlos geworden sind und berechnete Erwartungen des Unternehmens, also *Vattenfalls*, in die Ausnutzbarkeit solcher Investitionen enttäuscht wurden, eine Entschädigung angeordnet wird. Spannend wird es, wenn BVerfG und ICSID-Schiedsgericht, die wohl beide im Spätherbst entscheiden werden,<sup>24</sup> zu unterschiedlichen Ergebnissen oder auch nur unterschiedlichen Begründungen gelangen sollten.

#### IV. Die finanzielle Gewährleistung der Entsorgung

Kehren wir nun nach diesem transatlantischen Ausflug zu den deutschen Besorgnissen und Problemen zurück und wenden wir uns den Fragen der finanziellen Gewährleistung der Entsorgung zu.

Man benötigt keine besondere Vorstellungskraft, um die Einsicht zu gewinnen, dass die Bewältigung des Atomausstiegs gewaltige finanzielle Anstrengungen erfordert. In Preisen von 2014 werden die Kosten für die Entsorgung auf 47,5 Mrd. EUR geschätzt. Nimmt man dazu die geschätzten zusätzlichen Kosten für einen vollständigen Rückbau von 400 Mio. EUR und 900 Mio. EUR Entsorgungskosten für nicht abgebrannte Brennelemente hinzu, so ergeben sich Gesamtkosten in Höhe von 48,8 Mrd. EUR. Entsprechend gesetzlicher Verpflichtung haben die Betreiber-Unternehmen für die Kosten zum Zeitpunkt ihrer Fälligkeit Rückstellungen gebildet. Diese beliefen sich im Jahre 2014 auf 38,3 Mrd. EUR.<sup>25</sup>

Sie bilden die Kosten für

- (1) Stilllegung und Rückbau von Kernkraftwerken;

---

<sup>23</sup> In diesem Sinne auch die Ausführungen von *M. Ludwigs*, oben Fn. 18, S. 5 f.

<sup>24</sup> Das BVerfG hat mit Urteil vom 06.12.2016, oben Fn. 8, entschieden. Das ICSID-Schiedsgericht dürfte im Laufe des Jahres 2017 entscheiden, nachdem den Parteien bis zum 01.03.2017 Gelegenheit zur Einreichung weiterer Schriftsätze gegeben worden ist, vgl. auch Fn. 22.

<sup>25</sup> Die Zahlen sind dem Abschlussbericht der Kommission zur Überprüfung der Finanzierung des Kernenergieausstiegs („Verantwortung und Sicherheit – Ein neuer Entsorgungskonsens“) vom 27. April 2016, abrufbar unter [Buero-KfK@BMWi.BUND.DE](mailto:Buero-KfK@BMWi.BUND.DE), S. 6, entnommen.

- (2) die Verpackung von bestrahlten Brennelementen und radioaktiven Abfällen aus der Wiederaufarbeitung sowie die Verpackung von sonstigen Abfällen, erforderliche Behälter für Zwischen- und Endlagerung, Transporte sowie die Rückführung der radioaktiven Abfälle aus der Wiederaufarbeitung;
- (3) die Zwischenlagerung von radioaktiven Abfällen;
- (4) die Endlagerung von radioaktiven Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung im Schacht Konrad;
- und
- (5) die Endlagerung von bestrahlten Brennelementen und Abfällen aus der Wiederaufarbeitung (hochradioaktive Abfallstoffe) in einem Endlager für solche Abfallstoffe einschließlich der Kosten der Suche und Auswahl eines Standortes für ein entsprechendes Endlager

ab.

Am 14. Oktober 2015 hatte die Bundesregierung die Einsetzung einer *Kommission zur Überprüfung der Finanzierung des Kernenergieausstiegs* beschlossen. Auftrag der Kommission war es, die Sicherstellung der Finanzierung von Stilllegung und Rückbau der Kernkraftwerke sowie die Entsorgung der radioaktiven Abfälle so auszugestalten, dass die Unternehmen auch langfristig wirtschaftlich in der Lage sind, ihre Verpflichtungen aus dem Atombereich zu erfüllen. Dies zeigt, dass die Bundesregierung bei aller Betonung des Grundsatzes, dass die Kosten von den Verursachern, also den AKW-Betreibern, getragen werden müssen, von der Sorge erfasst war, dass die Unternehmen als Folge der Verschlechterung ihrer wirtschaftlichen Verfassung in Zukunft möglicherweise ihre finanziellen Verpflichtungen nicht würden zur Gänze erfüllen können. Ko-Vorsitzende der Kommission waren die Herren Trittin, von Beust und Platzeck. Die Kommission hat am 27.4.2016 ihren Bericht vorgelegt.<sup>26</sup>

Sie hatte im Kern eine *Grundfrage* zu lösen: Die Verteilung der Erfüllungsverantwortung und der Finanzierungsverantwortung auf die Betreiber-Unternehmen und den Staat/Gesellschaft/Steuerzahler. Oder einfacher ausgedrückt: Wer tut was? Und wer bezahlt was? Die Zuteilung beider Bereiche an die Unternehmen allein oder den Staat allein schied von vornherein aus. Die Erfüllungsverantwortung war im übrigen schon seit der Atomrechtsnovelle von 1976 geteilt: Die Endlagerung (Konrad, Gorleben) war dort als Staatsaufgabe ausgewiesen<sup>27</sup>

<sup>26</sup> Vgl. den Nachweis in Fn. 25.

<sup>27</sup> Nach § 9a Abs. 3 S. 1 AtG 1976 „hat der Bund Anlagen zur Sicherstellung und zur Endlagerung radioaktiver Abfälle einzurichten“, BGBl. 1976 I, S. 2573.

und eine Verlagerung auf die Unternehmen schied von vornherein aus. Jetzt ging es um die Neujustierung der Erfüllungsverantwortung und vor allem um die Verteilung der Finanzierungsverantwortung und damit auch um das Finanzierungsrisiko. Intensiv erwogen wurden zwei Modelle:<sup>28</sup>

1. die *Errichtung einer privatrechtlichen Stiftung*. Dabei hätten die Betreiber die Kernenergie-Rückstellungen bis 2022 auf eine Stiftung zu übertragen, die danach für den Rückbau, die Verpackung sowie die Zwischen- und Endlagerung des Abfalls verantwortlich wäre. Alle über die eingebrachten Vermögenswerte hinausgehenden Risiken würden den Staat und damit die Steuerzahler treffen. Dies ist das Modell der RAG-Stiftung zur Abdeckung der Ewigkeitslasten der Steinkohle.
2. Als Alternative wurde die Einbringung der Vermögenswerte in einen öffentlich-rechtlichen Fonds geprüft: Der Fonds würde ebenfalls mit dem eingebrachten Vermögen haften, bei nicht ausreichenden Mitteln müssten die Betreiber-Unternehmen jedoch unbegrenzt nachhaften. Die Kommission hat beide Modelle wegen ihrer einseitigen Belastungswirkung verworfen: Im 1. Falle werde der Staat einseitig belastet, im 2. Falle ergebe sich eine solche Wirkung zu Lasten der Betreiber.

Statt dessen hat die Kommission ein Kompromissmodell vorgeschlagen, dessen Kennzeichen darin besteht, dass Erfüllungs- und Finanzierungsverantwortung zur Deckung gebracht werden: Wer etwas tut, soll auch dafür bezahlen. Dies bedeutet:

Die Aufgaben der Zwischenlagerung, der Herstellung von Endlagergebinden der Abfälle aus der Wiederaufarbeitung sowie der Transporte aus den Zwischenlagern zum Endlager sollen auf den Staat übertragen werden (Erfüllungsverantwortung). Die hierfür erforderlichen Mittel i.H. von 4,7 Mrd. EUR zuzüglich eines Risikozuschlags werden ebenfalls auf den Staat übertragen. Die finanziellen Mittel für die schon nach bisherigem Recht in die Erfüllungsverantwortung des Staates fallende Auswahl, den Bau, den Betrieb und die Stilllegung der nuklearen Endlager werden ebenfalls auf den Staat übertragen. Diese Werte belaufen sich auf 12,5 Mrd. EUR zuzüglich eines Risikozuschlags. Insgesamt sollen damit 17,2 (4,7 + 12,5) Mrd. EUR zuzüglich eines Risikoaufschlags von rund 35 % auf den Barwert der übertragenen Rückstellungen zur Schließung der Lücke zwischen Rückstellungen und Kosten auf den Staat übertragen werden. Schlussendlich beläuft sich das gesamte Übertragungsvolumen auf 23,3 Mrd. EUR, die in einen neu zu errichtenden öffentlich-rechtlichen Fonds eingebracht werden sollen. Mit der schrittweisen Zahlung des Risikozuschlags werden die Betreiber enthaftet.

---

<sup>28</sup> Vgl. die Darstellung in dem in Fn. 25 erwähnten Abschlussbericht, S. 17 ff.

Damit verbleiben in der Erfüllungs- wie auch der Finanzierungsverantwortung der Betreiber-Unternehmen der Rückbau, die Stilllegung und die Verpackung der Abfälle. Insoweit trifft die Unternehmen eine unbeschränkte Haftung.<sup>29</sup> Es stellt sich allerdings in Anbetracht der sich rapide verschlechternden wirtschaftlichen Lage der Betreiber-Unternehmen die Frage zusätzlicher Sicherungen für diese Kosten.

## V. Das Problem der sog. Nachhaftung

Nach dem von der Kommission vorgeschlagenen Finanzierungssystem verbleiben somit bei den Betreiber-Unternehmen hohe finanzielle Entsorgungsbelastungen. Damit stellt sich das Problem der tatsächlichen Realisierbarkeit. Gesellschaftsrechtlich sind die Betreiber regelmäßig als eigenständige Gesellschaften, insbesondere AG oder GmbH, organisiert, die ihrerseits über eine Kette von Beherrschungs- und Ergebnisabführungsverträgen zwischen ihnen bis hin zu den Konzernmuttergesellschaften in einen Konzern eingegliedert sind. Nach den konzernrechtlichen Vorschriften (§ 302 AktG) sind die beherrschenden (Mutter-) Gesellschaften den Betreiber-Tochter-Gesellschaften gegenüber zum Verlustausgleich verpflichtet, so dass auf diesem Wege den Gläubigern grundsätzlich das gesamte Vermögen der Muttergesellschaften zur Verfügung steht.

Für die Gläubiger der Betreibergesellschaften kann sich diese Haftungslage jedoch verschlechtern, wenn die Betriebsgenehmigung der Betreibergesellschaft erlischt und damit die Beherrschungs- und Ergebnisabführungsverträge gekündigt werden können. In diesem Falle sind die Gläubiger nur über einen Zugriff auf das Vermögen der der Betreibergesellschaft unmittelbar übergeordneten Gesellschaft gesichert (§ 303 Abs. 1 AktG). Ferner sind die Gläubiger der Betreibergesellschaft nicht gegen eine Verlagerung von Vermögensgegenständen im Rahmen von Konzernumstrukturierungen<sup>30</sup> auf andere Gesellschaften, die keiner Nachhaftung unterliegen, gesichert.

Politisch wird angestrebt, durch eine gesellschaftsrechtliche Regelung des Gesetzgebers i.S. einer Nachhaftung die gegenwärtig für die Gläubiger bestehende Haftungssituation zu perpetuieren. Die Bundesregierung hatte bereits im No-

<sup>29</sup> Die Erkenntnisse und Empfehlungen der „Kommission zur Überprüfung der Finanzierung des Kernenergieausstiegs“ (Fn. 25) sind inzwischen vom Gesetzgeber übernommen worden („Gesetz zur Neuordnung der Verantwortung in der kerntechnischen Entsorgung“), vgl. BT-Drucks. 18/10469 vom 29.11.2016. Die Beschlussfassung durch Bundestag und Bundesrat erfolgte am 15. bzw. 16.12.2016, jetzt verkündet in BGBl. 2017 I, S. 114. Der genaue Einzahlungsbetrag der Unternehmen in den Fonds beträgt 17,389 Mrd. Euro, der Risikoaufschlag 35,47 %.

<sup>30</sup> Politisch-tatsächlicher Hintergrund der Überlegungen zu einer Nachhaftung sind die Umstrukturierungen bei E.ON (E.ON/Uniper) und RWE (RWE/Innogy).

vember 2015 einen entsprechenden Gesetzentwurf eingebracht.<sup>31</sup> Eine endgültige Lösung auch unter Berücksichtigung der Ergebnisse der Finanzierungskommission wird für Ende 2016 erwartet.<sup>32</sup>

## VI. Endlagerung radioaktiver Abfälle: Der Neubeginn der Standortsuche

Einen noch sehr viel weiter in die Zukunft reichenden Problembereich stellt die Frage der Endlagerung radioaktiver Abfälle dar. Mit dem durch die politischen Instanzen vor einigen Jahren beschlossenen Verzicht auf die weitere Erkundung des Salzstocks Gorleben sind Erkundung und Errichtung eines solchen Endlagers um Jahrzehnte auf den Ausgangspunkt der 70er Jahre des vorigen Jahrhunderts zurückgeworfen worden. Im Jahre 2013 hatten die parlamentarischen Instanzen ein „Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für wärmeentwickelnde radioaktive Abfälle (Standortauswahlgesetz – StandAG)“<sup>33</sup> in Geltung gesetzt. Das Verfahren zur Standortsuche wurde im Lichte der Erfahrungen mit der Erkundung des Salzstocks Gorleben grundlegend neu geregelt. Es gliedert sich danach in fünf Phasen:

1. Die 1. Phase besteht aus einer vorbereitenden Kommissionsarbeit: Eine sog. Kommission „Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe“ erarbeitet einen Bericht zu den Standortausschlusskriterien, den Standortmindestanforderungen, den Abwägungskriterien und den weiteren Entscheidungsgrundlagen der Standortauswahl als Empfehlungen. Dies schließt auch Vorschläge zu Änderungen des Standortauswahlgesetzes ein. Die Kommission hat vor einigen Tagen diesen Bericht in einem Umfang von etwa 600 Seiten nach zweijähriger Tätigkeit beschlossen.<sup>34</sup>
2. Auf der Grundlage der gesetzlich festgelegten Auswahlkriterien sind in Betracht kommende Standortregionen zu ermitteln.
3. Innerhalb der so festgelegten Standortregionen werden die Standorte ermittelt, die für eine übertägige Erkundung in Betracht kommen. Auch hierüber entscheidet der Bundestag durch Gesetzesbeschluss.

---

<sup>31</sup> „Entwurf eines Gesetzes zur Nachhaftung für Rückbau- und Entsorgungskosten im Kernenergiebereich“ vom 9.11.2015, BT-Drs. 18/6615.

<sup>32</sup> Eine entsprechende Regelung findet sich jetzt in Art. 8 des „Gesetzes zur Neuordnung der Verantwortung in der kerntechnischen Entsorgung“, vgl. oben Fn. 29.

<sup>33</sup> Vom 23.07.2013 (BGBl. I S. 2553); vgl. hierzu *Kühne*, The German Path Towards a Final Nuclear Waste Repository, in: R.M. Manóvil (Hrsg.), Nuclear law in progress, 2014, S. 373 – 392.

<sup>34</sup> Der Abschlussbericht der Kommission „Lagerung hochradioaktiver Abfallstoffe“ ist veröffentlicht in BT-Drs. 18/9100 vom 19.07.2016.



4. Nach der übertägigen Erkundung sind in deren Licht die Standorte auszuwählen, die für eine *untertägige* Erkundung in Frage kommen. Auch diese Festlegung hat durch Gesetzesbeschluss des Bundestages zu geschehen.
5. Abgeschlossen wird das Suchprogramm in einer 5. Phase durch das Verfahren zur Festlegung des Standorts für das Endlager. Auch die Standortfestlegung hat durch parlamentarischen Gesetzesbeschluss zu erfolgen. Als Zeitpunkt hierfür ist das Jahr 2031 ins Auge gefasst. Diese Zeitvorstellung wird indes vielfach als zu optimistisch angesehen.

Zu den prägenden Merkmalen dieses Verfahrenssystems für die Standortauswahl gehört zum einen eine umfassende Öffentlichkeitsbeteiligung unter Einbeziehung von Kommissionen, die den Dialog mit der Öffentlichkeit und den gesellschaftlichen Gruppen führen und managen sollen. Zum anderen zeichnet es sich dadurch aus, dass am Ende der einzelnen Phasen nicht Verwaltungsakte von Behörden, wie bei sonstigen Genehmigungsverfahren traditionell üblich, sondern Gesetzesbeschlüsse des Deutschen Bundestages stehen sollen. Dieses System trägt zwar der politischen und gesellschaftlichen Bedeutung der Materie Rechnung, kann jedoch auch zur Beschränkung von Rechtsschutzmöglichkeiten führen, da unmittelbare Rechtsbehelfe des Bürgers gegen Parlamentsbeschlüsse nicht eingreifen.<sup>35</sup>

## VII. Schlußbemerkungen

Der vorstehende Überblick hat gezeigt, welche Fülle von Rechtsproblemen der deutsche Atomausstieg aufgeworfen hat. Diese Problemfülle ist zugleich ein Spiegelbild der politischen Umstrittenheit der Nutzung der Atomenergie, insbesondere seit der Jahrhundertwende. Eindeutige Verlierer der Entwicklung sind die kernkraftnutzenden großen Energieversorgungsunternehmen. Eindeutige Gewinner sind weniger klar auszumachen, wenn man einmal von einigen großen, mit den Gerichtsverfahren beschäftigten Anwaltskanzleien absieht.

<sup>35</sup> Die Kommission „Lagerung hochradioaktiver Abfallstoffe“ hat in ihrem Abschlussbericht, oben Fn. 34, an der grundsätzlichen Struktur des Standortauswahlverfahrens nach dem StandAG von 2013 festgehalten. Inzwischen hat die Bundesregierung Formulierungshilfen für ein „Gesetz zur Fortentwicklung des Gesetzes zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle und anderer Gesetze“ (Bearbeitungsstand: 21.12.2016) vorgelegt, in die die Kommissionsempfehlungen eingearbeitet sind. In diesem Entwurf wird nunmehr vorgesehen, dass Rechtsschutz gegenüber dem vom Bundesamt für kerntechnische Entsorgungssicherheit zu erlassenden Bescheid über die gesetzmäßige Durchführung des Standortauswahlverfahrens vor der untertägigen Erkundung und nicht erst zu einem weit späteren Zeitpunkt gewährt wird. Der Weg über „Formulierungshilfen“ wird gewählt, weil der Entwurf von den Regierungsfractionen im Bundestag eingebracht werden soll, da auf diese Weise das parlamentarische Verfahren abgekürzt und daher beschleunigt werden kann.



Die Ausführungen konnten nur die zentralen Fragenkomplexe ansprechen und die Grundrichtungen aufzeigen. Daneben gibt es noch eine erhebliche Zahl weiterer Kriegsschauplätze. So sind weitere Klagen von E.ON und RWE wegen Schadenersatzes über 380 bzw. 235 Mio. als Folge des dreimonatigen Betriebsverbots für die sieben ältesten AKWs unmittelbar nach der Atomkatastrophe anhängig. Die Klagen gründen sich auf Amtspflichtverletzung der Behörden. Entscheidender Grund war der Umstand, dass die Unternehmen die den Weiterbetrieb untersagende behördliche Anordnung nicht zuvor vor den Verwaltungsgerichten angefochten hatten.<sup>36</sup> Dieses Unterlassen war ein strategischer Fehler der beteiligten Unternehmen – ein Fehler, den als einziges Unternehmen RWE nicht begangen hatte. Die Verwaltungsgerichte bis zum BVerwG haben die seinerzeitige behördliche Anordnung an RWE zur Betriebseinstellung in einer für die Behörde peinlichen Deutlichkeit für rechtswidrig erkannt.<sup>37</sup> Ferner sind zahlreiche Rechtsstreitigkeiten hinsichtlich der den AKW-Betreibern dadurch entstehenden Mehrkosten anhängig, dass das Zwischenlager Gorleben nicht mehr genutzt werden darf, was eine Zwischenlagerung an den standortnahen Zwischenlagern der Unternehmen erforderlich macht.<sup>38</sup>

Dies alles verdeutlicht, welch enormer Aufwand heute mit einem rechtsstaatlichen Umgang mit hoch- und großtechnologischen Vorhaben verbunden ist. Dies bezieht sich nicht nur auf das Ende einer technologischen Nutzungsphase, sondern auch auf den Beginn und die Durchführung solcher Vorhaben. Hierfür ist die jetzt in der Anfangsphase befindliche Suche nach einem Standort für ein Endlager ein besonders krasses Beispiel.

---

<sup>36</sup> Vgl. LG Bonn, Urt. v. 6.4.2016 – 1 O 458/14, Neue Zeitschrift für das gesamte Recht der Energiewirtschaft (EnWZ) 2016, S. 426; ebenso LG Hannover, Urt. v. 4.7.2016 – 19 O 232/14.

<sup>37</sup> Hess. VGH, Urt. v. 27.2.2013 – 6 C 825/11.T, Deutsches Verwaltungsblatt (DVBl.) 2013, S. 726; BVerwG, Beschl. v. 20.12.2013 – 7 B 18.13, 7 B 19.13 – DVBl. 2014, 303.

<sup>38</sup> Im Zusammenhang mit der Verabschiedung des „Gesetzes zur Neuordnung der Verantwortung in der kerntechnischen Entsorgung“ (oben Fn. 29) haben die betroffenen Unternehmen angekündigt, dass sie die meisten der anhängigen Klagen zurücknehmen wollen.

## **Endlagerforschung: Technische Herausforderungen vor dem Hintergrund gesellschaftlicher Konflikte\***

KLAUS-JÜRGEN RÖHLIG

Institut für Endlagerforschung, Technische Universität Clausthal  
Adolph-Roemer-Straße 2A, D-38678 Clausthal-Zellerfeld  
E-Mail: klaus.roehlig@tu-clausthal.de

### **Einleitung**

Nach der faktischen Beendigung der Debatte um die Stromerzeugung aus Kernenergie in Deutschland, also nach der in Reaktion auf das Tōhoku-Erdbeben, den anschließenden Tsunami und die Reaktorunfälle in Fukushima im März 2011 eingeleiteten so genannten „Energiewende“, entstand auch die Möglichkeit, den mit dieser Debatte eng verknüpften gesellschaftlichen Konflikt um den Umgang mit den radioaktiven Abfällen (insbesondere den hoch radioaktiven oder Wärme entwickelnden Abfällen) zu lösen. Nachfolgend soll ein Überblick über die verschiedenen Arten radioaktiver Abfälle, Ansätze zu ihrer Entsorgung sowie zur diesbezüglichen Situation in Deutschland gegeben werden.

### **Kategorien radioaktiver Abfälle**

Radioaktive Reststoffe entstehen nicht nur in Zusammenhang mit Kernenergie, sondern in geringeren Mengen z.B. auch bei der Nutzung von Radioaktivität bzw. ionisierender Strahlung<sup>1</sup> in der Forschung, der Industrie und in der Medizin. Sie fallen in sehr unterschiedlichen Formen an. Beispiele sind Laborschutzbekleidung,

---

\* Der Vortrag wurde am 09.07.2016 vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

<sup>1</sup> Bestimmte Nuklide (gekennzeichnet durch eine bestimmte Anzahl von Protonen und Neutronen im Atomkern; verschiedene Nuklide eines Elements werden als Isotope bezeichnet) sind instabil und damit radioaktiv. „Instabilität“ bedeutet, dass sich die Atomkerne spontan umwandeln oder ihren energetischen Zustand ändern und dabei Energie in Form von ionisierender Strahlung freigesetzt wird. Diese Eigenschaft wird als Radioaktivität bezeichnet, der leider häufig verwendete Pleonasmus „radioaktive Strahlung“ ist jedoch inkorrekt (der Stoff ist radioaktiv, nicht die Strahlung).

Bauschutt aus zurückgebauten kerntechnischen Anlagen, Abluftfilter, bestrahlte (auch „verbrauchte“ oder „ausgediente“) Brennelemente bzw. Kernbrennstoffe und verschiedenartigste Reststoffe aus der Wiederaufarbeitung solcher Brennelemente (s. unten). Es gibt große Unterschiede hinsichtlich der physikalischen Form und der chemischen Zusammensetzung, vor allem aber unterscheiden sich die Abfälle durch zwei Charakteristika, die sich unmittelbar auf das Phänomen Radioaktivität beziehen: Aktivitätsgehalt sowie Lebensdauer bzw. Halbwertszeit:

Radioaktive Abfälle weisen (sehr) unterschiedliche Konzentrationen von Radioaktivität auf. Die Maßeinheit für Radioaktivität ist das Becquerel (Bq)<sup>2</sup>. Die Spanne der Aktivitätskonzentrationen in den Abfällen reicht von weniger als  $10^{10}$  bis zu mehr als  $10^{17}$  Becquerel (Bq) pro m<sup>3</sup>. Die in den Abfällen enthaltenen Radionuklide besitzen unterschiedliche Halbwertszeiten, so dass die kurzlebigen als praktisch nicht vorhanden bzw. „sofort“ zerfallen angesehen werden können (Beispiel <sup>16</sup>B mit weniger als  $190 \cdot 10^{-12}$  Sekunden), während die langlebigen praktisch gar nicht zerfallen (Beispiel <sup>232</sup>Th mit einer Halbwertszeit von 14 Milliarden Jahren).<sup>3</sup>

Verbrauchte Kernbrennstoffe enthalten eine Vielzahl unterschiedlicher Nuklide:

- Aus der Kernspaltung entstandene „Spaltprodukte“ mit einem Überschuss an Neutronen, welche meist so genannte  $\beta$ -Strahler sind. Beispiele sind <sup>90</sup>Sr und <sup>137</sup>Cs.
- Durch Neutronenaufnahme entstandene so genannte Aktivierungsprodukte, welche meist  $\gamma$ -Strahler sind, z. B. <sup>60</sup>Co.
- Aktinide (Actinoide): erbrüteter oder unverbrauchter Kernbrennstoff und dessen Tochterprodukte. Sie bilden Zerfallsketten mit hohem Anteil an  $\alpha$ -Zerfällen, ein Beispiel ist <sup>239</sup>Pu.

Die Aktivitätsgehalte in verbrauchten Kernbrennstoffen sind sehr hoch (bis zu einigen  $10^{18}$  Bq pro Tonne zum Zeitpunkt der Entladung). Mit der Aktivität geht eine Wärmeproduktion von  $10^3$  kW pro Tonne einher. Beide Werte werden

<sup>2</sup> 1 Bq = eine Kernumwandlung pro Sekunde. Im menschlichen Körper finden mehrere tausend Kernumwandlungen pro Sekunde statt.

Halbwertszeit: Zeit, in der die Hälfte einer Menge eines bestimmten Radionuklids umgewandelt (meist: „zerfallen“) ist. Da die Aktivität zu einem bestimmten Zeitpunkt proportional zur zu diesem Zeitpunkt vorhandenen Stoffmenge des Nuklids ist, sinkt nach Ablauf einer Halbwertszeit auch die Aktivität dieses Nuklids und damit die aus dessen Kernumwandlungen resultierende Strahlenemission auf die Hälfte. Falls das resultierende so genannte „Tochternuklid“ wieder radioaktiv ist, führt dies zu weiteren Strahlenemissionen. Je höher die Zerfallskonstante, also der Anteil von Kernen, der pro Zeiteinheit umgewandelt wird, ist, desto geringer ist die Halbwertszeit (und umgekehrt).

<sup>3</sup> Die hochgestellte Zahl kennzeichnet die Massenzahl (auch: Nukleonenzahl). Auch andere Schreibweisen sind gebräuchlich: <sup>232</sup>Th, <sup>232</sup>Th, Th-232, Thorium-232.

zum Zeitpunkt der Entladung vor allem durch den Anteil an Spaltprodukten bestimmt. Sie sind sowohl von der Anfangsanreicherung<sup>4</sup> als auch dem Abbrand<sup>5</sup> abhängig und sinken im Lauf der ersten zehn Jahre nach Entladung auf ca. ein Promille des Ausgangswertes.

### **Hochradioaktive (wärmeentwickelnde) Abfälle: Wiederaufarbeitung und Zwischenlagerung**

Der oben eingeführte Begriff „Abbrand“ weist darauf hin, dass der Verbrauch der spaltbaren Materialien und die Ausnutzung der Kernenergie im Kernreaktor variieren können, jedoch aus technischen Gründen nie vollständig sein werden. Die in „verbrauchten“ Kernbrennstoffen enthaltenen verbliebenen bzw. durch Kernumwandlungen „erbrüteten“ Actinoide, insbesondere Plutonium und Uran, könnten – zumindest theoretisch – durch weitere Kernspaltungen noch weiter energetisch „ausgebeutet“ werden. Abgesehen von einer Erhöhung des Abbrands, die jedoch technische Probleme mit sich bringt, kann dies durch ein „Recycling“ der verbrauchten Kernbrennstoffe geschehen. Der Wiederaufarbeitung bestrahlter Brennelemente liegt ursprünglich dieser Gedanke zugrunde. Heutiger kerntechnischer Standard zur Wiederaufarbeitung ist das so genannte PUREX-Verfahren (Plutonium and Uranium Recovery by EXtraction). Wie die Bezeichnung sagt, zielt das Verfahren auf die Gewinnung von Plutonium und Uran, woraus dann so genannte Mischoxid-Brennelemente (MOX) hergestellt werden können. Die energetisch wertlosen Spaltprodukte und andere Radionuklide werden abgetrennt und gelangen als verglaste hoch radioaktive (Wärme entwickelnde) Abfälle in Stahlkokillen (ca.  $10^{15}$  Bq pro Kokille, hauptsächlich durch die Spaltprodukte  $^{137}\text{Cs}$  und  $^{90}\text{Sr}$ , beide mit einer Halbwertszeit von ca. 30 Jahren).

Das PUREX-Verfahren wird in den Wiederaufarbeitungsanlagen in La Hague (Normandie) und Sellafield (Nordengland) industriell eingesetzt, für eine weitere Anlage in Rokkasho (Japan) ist der Betriebsbeginn in den nächsten Jahren geplant. Die in den 1980er Jahren geplante deutsche industrielle Wiederaufarbeitungsanlage im bayerischen Wackersdorf wurde insbesondere wegen des Widerstands in der Gesellschaft nie fertiggestellt. In diesen und anderen Ländern gab bzw. gibt es eine Reihe weiterer unterschiedlicher Wiederaufarbeitungsanlagen (auch Versuchs- und Pilotanlagen). Wiederaufarbeitung in großem Maßstab betreibt insbesondere Russland.

---

<sup>4</sup> Anteil des für die Kernspaltung wesentlichen  $^{235}\text{U}$  im neu produzierten Kernbrennstoff

<sup>5</sup> Grad der Ausnutzung der Energie des Kernbrennstoffs, genauer: Verhältnis der im Kernbrennstoff erzeugten Energie zur Masse des enthaltenen Schwermetalls

Bei einer Entscheidung, ob verbrauchte Kernbrennstoffe wiederaufgearbeitet werden sollten, müssen viele Aspekte berücksichtigt werden (Dutton et al. 2004, McCombie et al. 2010):

- **Wirtschaftlichkeit und Versorgungssicherheit:** Der Einsatz teurer Technologie zur Wiederaufarbeitung, also besseren Ausnutzung des Energiegehalts der Kernbrennstoffe lohnt sich vor allem dann, wenn die Uranpreise vergleichsweise hoch sind. Ein Vorteil einer solchen Verbesserung kann auch darin liegen, dass die Abhängigkeit von der Bereitstellung von Natururan aus z. T. politisch instabilen Regionen sinkt.
- **Perspektive der Stromerzeugung aus Kernenergie:** Wiederaufarbeitung ist insbesondere dann sinnvoll, wenn sie im Kontext eines langfristigen Kernenergieprogramms, insbesondere in Verbindung mit dem Einsatz fortgeschrittener Reaktorkonzepte, geplant wird – nicht sinnvoll ist sie jedoch für Länder, die einen baldigen Ausstieg aus der Nutzung der Kernenergie vorsehen.
- **Waffenfähiges Material:** Das bei der Wiederaufarbeitung anfallende Plutonium kann für die Produktion von Kernwaffen genutzt werden. Dies ist einerseits von Bedeutung für Kernwaffenmächte, andererseits besteht die Gefahr einer Weitergabe des Materials an Dritte („Proliferation“). Ein Proliferationsrisiko besteht auch für verbrauchte Kernbrennstoffe, nicht jedoch für die verglasten Abfälle aus der Wiederaufarbeitung.
- **Umweltschutz und Transporte:** Wiederaufarbeitung ist mit der Ableitung radioaktiver Stoffe aus den Anlagen verbunden. Auch wenn diesbezügliche Grenzwerte eingehalten werden, bedarf eine solche – auch geringfügige – Freisetzung gemäß der Vorgaben des Strahlenschutzes doch der Rechtfertigung. Wiederaufarbeitung geht mit einer erhöhten Anzahl von Transporten hoch radioaktiver Stoffe (zu und von den Wiederaufarbeitungsanlagen) einher.
- **Abfälle:** Sind verbrauchte Kernbrennstoffe zur Wiederaufarbeitung vorgesehen, so gelten sie als Wertstoffe, nicht als Abfall. Die entstehenden hoch radioaktiven verglasten Abfälle mit den Spaltprodukten weisen ein um ein Vielfaches geringeres Volumen auf. Sie sind ein standardisiertes Qualitätsprodukt mit einer für die Endlagerung günstigen hohen Beständigkeit. Daneben fallen weitere schwach- und mittelaktive Abfälle bei der Wiederaufarbeitung an. Zu klären ist jeweils, ob das bei der Wiederaufarbeitung gewonnene Uran und Plutonium tatsächlich komplett wieder verwertet wird, oder ob ein Teil davon später doch als zu entsorgender Abfall zu deklarieren ist.

In Deutschland gab es aufgrund dieser komplexen Sachverhalte und wechselnder politischer Vorgaben eine Reihe von Änderungen bezüglich der Frage der Wiederaufarbeitung, die in einer recht unübersichtlichen Situation hinsichtlich der Zwischenlagerung hoch radioaktiver Abfälle resultieren:

- Bis 1994 war die Wiederaufarbeitung der einzige zulässige Entsorgungsweg für verbrauchte Kernbrennstoffe, eine zentrale Zwischenlagerung des resultierenden verglasten hochaktiven Abfalls sollte in Gorleben erfolgen. Ursprünglich war eine Wiederaufarbeitung in Deutschland geplant (WAA Wackersdorf), nach Aufgabe dieses Plans wurden verbrauchte Kernbrennstoffe zur Wiederaufarbeitung nach England (Sellafield) und Frankreich (La Hague) verbracht und die zurückzunehmenden verglasten Abfälle zum zentralen Zwischenlager nach Gorleben transportiert.
- Seit 1994 ist neben diesem Entsorgungsweg auch die so genannte direkte Endlagerung von verbrauchten Kernbrennstoffen zulässig. Für deren zentrale Zwischenlagerung waren die Lager in Gorleben und Ahaus, später auch in Lubmin (hauptsächlich für Kernbrennstoffe aus den neuen Bundesländern) vorgesehen.
- Mit dem „Atomkonsens“ von 2000 ging ein Verbot von Transporten zur Wiederaufarbeitung von 2005 an einher, gleichzeitig sollten die noch anfallenden verbrauchten Kernbrennstoffe dezentral an den Standorten der Kernkraftwerke zwischengelagert werden.
- Schließlich wurde mit dem Standortauswahlgesetz von 2013 der Transport der noch erwarteten Wiederaufarbeitungsabfälle nach Gorleben verboten, diese sollen ebenfalls in dezentrale Zwischenlager verbracht werden (BMUB 2015c).

Dies mündete in die Situation, dass Deutschland heute über drei zentrale Zwischenlager (Ahaus und Lubmin für verbrauchte Kernbrennstoffe, Gorleben zusätzlich auch für Wiederaufarbeitungsabfälle) verfügt, zu denen 12 dezentrale Zwischenlager für verbrauchte Kernbrennstoffe an den Standorten von Kernkraftwerken kommen. Einige davon werden künftig auch Wiederaufarbeitungsabfälle aufnehmen. Zu beachten ist, dass diese dezentralen Lager Infrastruktur und Personal der jeweiligen Kernkraftwerke nutzen, ihre Lebensdauer die der Kraftwerke aber wegen des Fehlens einer Entsorgungslösung deutlich übersteigen wird.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Vereinfachte Darstellung. Nach dem Entladen aus dem Reaktor gelangen die Kernbrennstoffe (Brennelemente) zunächst in Abklingbecken, bevor sie transportiert und oder trocken zwischengelagert werden können. Auch die Abklingbecken sind ihrem Wesen nach Zwischenlager. Auch die Zwischenlagerung von Kernbrennstoffen aus Versuchs- und Forschungsreaktoren wurde in der Darstellung nicht berücksichtigt.

## **Abtrennung (Partitioning) und Transmutation: „Warten auf neue Technologien“?**

In der Debatte um die Entsorgung insbesondere hoch radioaktiver Abfälle wird immer wieder argumentiert, dass künftig innovative Technologien zur Verfügung stehen könnten, die das Schadenspotential verringern und eine Endlagerung vereinfachen oder gar überflüssig machen könnten. Nach Auffassung des Autors wird in diesen Debatten weitgehend ausgeblendet, dass solche (Kern-)Technologien nicht „vom Himmel fallen“. Ihre Entwicklung erfordert zunächst einen entsprechenden Willen, der sich in umfangreichen Investitionen niederschlagen müsste.

Die einzige Technologie(-Klasse), für die gegenwärtig tatsächlich in umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsprogramme investiert wird, sind so genannte Abtrennungs- und Transmutationstechnologien (P & T für englisch „partitioning and transmutation“). In der Tat wurde in den 90er Jahren des vorigen Jahrhunderts die Vorstellung erster P&T-Konzepte mit dem Versprechen verbunden, eine Endlagerung überflüssig zu machen.

Unter Transmutation ist die Umwandlung von Nukliden durch Kernreaktionen in Reaktoren oder Teilchenbeschleunigern, ausgelöst durch Neutronenbeschuss, zu verstehen. Das Ziel von Transmutationen ist die Erzeugung kurzlebigerer oder gar stabiler Nuklide. Vor der Transmutation ist eine (chemische) Abtrennung der zu transmutierenden Stoffe, quasi eine Form von Wiederaufarbeitung, notwendig. P&T-Technologien werden häufig in Zusammenhang mit Projekten zur Kernenergiegewinnung mit fortgeschrittenen Reaktorkonzepten betrachtet. Ihre industrielle Implementierung ist frühestens in einigen Jahrzehnten zu erwarten. Ähnlich wie im Fall der Wiederaufarbeitung ist auch bei der Betrachtung von P&T-Technologien ein komplexes Geflecht technologischer, ökonomischer und gesellschaftlicher Sachverhalte zu berücksichtigen. Hier soll nur auf wenige wesentliche Gesichtspunkte im Hinblick auf die Abfallentsorgung eingegangen werden, für weitergehende Ausführungen vgl. z.B. (acatech 2013, 2014, ESK 2015):

Zunächst ist anzumerken, dass P&T nur für verbrauchte Kernbrennstoffe umsetzbar ist, jedoch nicht für verglaste Abfälle aus der Wiederaufarbeitung. Mittels P&T kann die Radiotoxizität, also die schädliche Wirkung der Stoffe bei Ingestion<sup>7</sup> oder Inkorporation<sup>8</sup>, innerhalb einiger Jahrzehnte deutlich verringert werden. Gleiches gilt für die Wärmeleistung, die ein entscheidender Faktor für den Platzbedarf in einem Endlager ist. Beide Effekte werden jedoch erst bei einer Zwischenlagerung über einige Jahrzehnte wirksam, eine Entsorgung würde also weiter verzögert.

---

<sup>7</sup> Aufnahme des radioaktiven Stoffes über Mund bzw. Verdauungstrakt

<sup>8</sup> Aufnahme über Haut oder Lunge

Die Verringerung der Radiotoxizität wird im Wesentlichen durch die Transmutation von Actinoiden erreicht. Diese sind jedoch im Untergrund nur gering mobil. Das Gefahrenpotential eines Endlagers wird weniger durch die hoch radiotoxischen aber wenig mobilen Actinoide, sondern eher durch die hoch mobilen Spaltprodukte bestimmt. Demzufolge wird das Gefahrenpotential bei einer Transmutation von Actinoiden nur wenig beeinflusst. Bei einer Entsorgung ist außerdem zu berücksichtigen, dass bei der Anwendung von P&T-Verfahren in größerem Umfang schwach- und mittelaktiver Abfälle anfallen werden. Deren genaue Menge und Zusammensetzung ist zum großen Teil noch zu klären. Zusammenfassend ist also festzustellen, dass P&T-Verfahren ggf. eine Erleichterung, aber keine prinzipielle Lösung des Abfallproblems bieten.

### **Abfallkategorien und Entsorgungslösungen**

Die internationale Atomenergiebehörde IAEA kategorisiert radioaktive Abfälle nach deren Aktivitätsgehalt und Lebensdauer und schlägt – abgestuft nach Gefahrenpotential – für unterschiedliche Kategorien unterschiedliche Entsorgungslösungen vor (IAEA 2009):

- Freigabeabfall: Freigabe aufgrund extrem geringer Aktivitätskonzentrationen, Behandlung wie „konventioneller“ Abfall
- Sehr schwach aktiver Abfall: Deponielösungen (ähnlich wie „konventionelle“ Abfalldeponien)
- Sehr kurzlebiger Abfall: Zerfalls-(Zwischen-)Lagerung, dann Freigabe
- Schwach aktiver Abfall: oberflächennahe Endlagerung
- Mittelaktiver Abfall: Endlagerung in „mittlerer Tiefe“ (einige Dutzend Meter)
- Hoch aktiver Abfall: Tiefe („geologische“) Endlagerung (mindestens einige hundert Meter Tiefe)

In Deutschland wird lediglich zwischen „Wärme entwickelnden Abfällen“ (hoch aktiven Abfällen) und „Abfällen mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung“ (schwach- und mittelaktiven Abfällen) unterschieden. Für beide Kategorien ist die Endlagerung in tiefen geologischen Formationen vorgesehen.

### **Tiefenlager in Steinsalz, Ton(stein) und kristallinen Hartgesteinen (z. B. Granit)**

Wie oben erläutert, ist die Endlagerung in (mehrere hundert Meter) tiefen geologischen Formationen insbesondere für hoch radioaktive Abfälle vorgesehen.



Sie kommt jedoch auch für schwach und mittlerradioaktive Abfälle zur Anwendung. Gedankliche Grundlage ist der Wunsch, die Sicherheit der Anlage über lange Zeiträume ohne späteres menschliches Zutun (wie z.B. Überwachung, Wartung, Reparatur, Umlagerung) in einem wartungsfreien System geologischer, geotechnischer und technischer Barrieren zu gewährleisten („passive Sicherheit“). Damit wird zum einen das Ziel verfolgt, Sicherheit unabhängig vom unkalkulierbaren Wandel gesellschaftlicher und ökonomischer Verhältnisse zu gewährleisten. Zum anderen liegt der Idee ein Begriff von Gerechtigkeit zugrunde, der künftige Generationen von der Verantwortung für die Abfälle befreit („Sorgenfreiheit“), ihnen allerdings auch wenig Spielraum bei einem möglichen Wunsch nach weiterem Umgang mit den Abfällen (z. B. nach Wiederverwertung oder Behandlung zur Verringerung des Schadenspotentials) lässt (wenig „Handlungsfreiheit“).

Für Endlagerung in tiefen geologischen Formationen werden unterschiedliche so genannte Wirtsgesteine (Gesteine, die die Abfälle aufnehmen) untersucht. Keines dieser Gesteine weist alle wünschenswerten physikalischen und chemischen Eigenschaften auf. Es gilt also immer, mittels technischer und geotechnischer Komponenten ein System zu schaffen, das die günstigen Eigenschaften des jeweiligen Wirtsgesteins ausnutzt und die weniger günstigen kompensiert:

- In mechanisch vorteilhaften **kristallinen Hartgesteinen** (z. B. Granit) ist mit wasserführenden Klüften zu rechnen. Einschlägige Konzepte (Schweden, Finnland) setzen daher auf einen langfristigen Einschluss (einige hunderttausend Jahre) in einem mit Kupfer ummantelten Behälter. Dessen chemische und mechanische Stabilisierung erfolgt durch die Einlagerung in ein quellfähiges Tonmaterial („Bentonitpuffer“).
- In **Ton** bzw. **Tonstein** ist ein Einschluss der Abfälle im Behälter nur für einige hundert Jahre erforderlich. Wesentliches Element des Konzepts ist die Behinderung der Migration der Schadstoffe durch das sehr gering durchlässige Wirtsgestein und die Verschlüsse der Einlagerungshohlräume. Eine Migration kann nur durch Diffusion erfolgen, die überdies durch Sorption an der Feststoffmatrix verlangsamt wird.
- Im **Steinsalz** soll der langfristige Einschluss der Schadstoffe durch das praktisch undurchlässige Wirtsgestein erfolgen. Hohlräume werden mit Salzgrus versetzt, der aufgrund des Gebirgsdrucks kompaktiert und ähnliche Eigenschaften wie das Wirtsgestein annimmt.

Mit einem Betriebsbeginn der ersten Endlager für hoch radioaktive Abfälle wird in den 20er Jahren in Schweden, Finnland (in beiden Ländern direkte Endlagerung verbrauchter Kernbrennstoffe in Kristallingestein) und Frankreich (Endlagerung von Wiederaufarbeitungsabfällen im Tonstein) gerechnet.

## Abfallaufkommen und Endlagerprojekte in Deutschland

In Deutschland wird für das Jahr 2080 mit ca. 304.000 m<sup>3</sup> radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung (schwach- und mittelaktive Abfälle mit weniger als 1% der Gesamtaktivität des Abfallaufkommens) sowie ca. 28.100 m<sup>3</sup> wärmeentwickelnder (hoch aktiver) Abfälle gerechnet. Für den Fall einer Rückholung der im Schacht Asse II eingelagerten Abfälle (s. unten) würde zusätzlich ein Abfallvolumen der nach der Rückholung konditionierten Abfälle von ca. 175.000 bis 220.000 m<sup>3</sup> für die spätere Endlagerung anfallen. Weiterhin kann abgereichertes Uran aus der Urananreicherung (so genannte Urantails), das derzeit (noch) nicht als Abfall deklariert ist, zur entsorgen sein. Das BMUB rechnet vorsorglich mit einer Abfallmenge von bis zu 100.000 m<sup>3</sup> (BMUB 2015a, b, BfS 2016).

In Deutschland bestanden bzw. bestehen folgende Endlagerprojekte:

- Das Endlager für radioaktive Abfälle Morsleben (ERAM) wurde in der DDR für schwach- und mittelaktive Abfälle in einem stillgelegten Kali- und Steinsalzbergwerk errichtet. Die Anlage wurde entsprechend des Einigungsvertrages vom Bund übernommen und bis 1998 für die Einlagerung weiterer Abfälle genutzt. Derzeit läuft das Planfeststellungsverfahren für den Verschluss der Anlage.
- Die Schachthanlage Asse II (bei Wolfenbüttel) ist ebenfalls ein ehemaliges Kali- und Steinsalzbergwerk. Neben Forschungsarbeiten zur Endlagerung radioaktiver Abfälle erfolgte hier eine zunächst als Versuchseinlagerung bezeichnete Einlagerung von schwach- und mittelaktiven Abfällen. Nach Einschätzung des Bundesamtes für Strahlenschutz ist nach jetzigem Kenntnisstand die Rückholung die beste Variante für den weiteren Umgang mit den dort eingelagerten radioaktiven Abfällen. Die Zielsetzung einer Rückholung ist gesetzlich fixiert.
- Das ehemalige Eisenerzbergwerk Konrad bei Salzgitter wird gegenwärtig für die Einlagerung des überwiegenden Teils der oben erwähnten 304.000 m<sup>3</sup> radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung (schwach- und mittelaktive Abfälle) umgerüstet. Der Planfeststellungsbeschluss würde eine Einlagerung der oben aufgeführten zusätzlichen 175.000 bis 220.000 m<sup>3</sup> Abfälle aus der Schachthanlage Asse II sowie des abgereicherten Urans aus der Urananreicherung nicht zulassen.
- In der Vergangenheit wurde der Salzstock Gorleben hinsichtlich seiner Eignung für die Einlagerung von Abfällen aller Kategorien, aber insbesondere der hochaktiven (Wärme entwickelnden) Abfälle erkundet. Der Standort (sowohl der Salzstock als auch das übertägige Zwischenlager, siehe oben) war immer wieder Gegenstand gesellschaftlicher Konflikte in Zusammen-

hang mit der Nutzung der Kernenergie in Deutschland. Diese entluden sich insbesondere anlässlich der Transporte von Wiederaufarbeitungsabfällen aus Frankreich in das Zwischenlager. Der Erkundungsbetrieb wurde im Jahr 2000 für zehn Jahre unterbrochen. Im Zuge der „Energiewende“ wurde 2013 mit dem Standortauswahlgesetz (vgl. den nachfolgenden Abschnitt) eine neue Standortauswahl für ein Endlager für insbesondere hoch radioaktive Abfälle eingeleitet, die Gorleben-Erkundung wurde eingestellt.

### **Standortauswahlgesetz und „Endlagerkommission“**

2013 wurde mit einer breiten Zustimmung (CDU/CSU, SPD, FDP und Grüne) das Standortauswahlgesetz verabschiedet (StandAG 2013). Es soll den Weg zu einer neuen Standortauswahl eröffnen und damit zur Beilegung des gesellschaftlichen Konflikts um die Endlagerung beitragen. Seine Eckpunkte sind:

- Es soll ein unvoreingenommener, wissenschaftsbasierter, transparenter Standortauswahlprozess eingeleitet werden, bei dem die Wirtsgesteine Salz, Ton und Kristallin zu berücksichtigen sind.
- Die Entsorgung soll innerhalb Deutschlands erfolgen.
- Eine Standortfestlegung ist für das Jahr 2031 vorgesehen.
- Der auszuwählende Standort soll die bestmögliche Sicherheit über eine Million Jahre gewährleisten.
- Das Auswahlverfahren ist mit Beteiligung der Öffentlichkeit in einem breiten Konsens durchzuführen.
- An wichtigen Meilensteinen sind Parlamentsentscheidungen vorgesehen.
- Wichtiges Ziel ist die Wahrnehmung der Verantwortung für die Abfälle durch die heutige Generation.
- Eine Kommission „Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe“ soll Empfehlungen zu wichtigen Eckpunkten des Verfahrens – auch zur Überarbeitung des Gesetzes selbst – erarbeiten.

Die Kommission „Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe“ stellte bereits in ihrer Zusammensetzung ein Novum dar: Vertreten waren gesellschaftliche Gruppen und Interessenvertreter (Industrie, Kirchen, Umweltorganisationen, Gewerkschaften – je Gruppe 2 Sitze), Wissenschaftler (8 Sitze) und die Politik (je 8 Sitze für Bundestag und Bundesrat). Hinsichtlich des Abschlussberichts waren die Vertreter von Bundestag und Bundesrat nicht stimmberechtigt.

### Die Kommission hatte die Aufgaben

- prinzipielle Fragen, zum Beispiel zu möglichen Alternativen zum Entsorgungsweg „Endlagerung“ zu klären,
- Kriterien für die Standortauswahl zu erarbeiten,
- dabei die Erfahrungen anderer Länder einzubeziehen,
- Empfehlungen zu Sicherheitsanforderungen zu formulieren,
- Anforderungen bzgl. von Öffentlichkeitsbeteiligung, Information und Transparenz zu erarbeiten und
- das Standortauswahlgesetzes zu evaluieren.

Der am 5. Juli 2016 übergebene Abschlussbericht der Kommission (Endlagerkommission 2016) empfiehlt den „Entsorgungspfad“ **Endlagerbergwerk mit Reversibilität** mit folgenden Etappen:

- Etappe 1 – Standortauswahlverfahren
- Etappe 2 – Bergtechnische Erschließung des Standortes
- Etappe 3 – Einlagerung der radioaktiven Abfälle in das Endlagerbergwerk
- Etappe 4 – Beobachtung vor Verschluss des Endlagerbergwerks
- Etappe 5 – Verschlussenes Endlagerbergwerk

Die Kommission spricht Empfehlungen zum Standortauswahlverfahren aus, diese betreffen sowohl den Verfahrensablauf als auch die anzuwendenden Kriterien und die Öffentlichkeitsbeteiligung. Außerdem werden Empfehlungen zur Organisationsstruktur in Deutschland und zur Gesetzgebung ausgesprochen.

Gegenwärtig (Februar 2017) wird das Standortauswahlgesetz auf der Basis des Kommissionsberichts überarbeitet.

Nach Auffassung des Autors sind viele der empfohlenen geowissenschaftlichen Kriterien für die Standortauswahl sinnvoll und adäquat, einige jedoch auch unangemessen. Der Kriteriensatz ist nicht vollständig konsistent, dies betrifft insbesondere die Behandlung kristalliner Wirtsgesteine. Hier und an anderer Stelle wird – belegt durch diverse Sondervoten – deutlich, dass der Bericht eine Mischung aus wissenschaftlichem Konsens und politischem Kompromiss darstellt. Die Bedeutung von Sicherheitsuntersuchungen, die insbesondere bei der Abwägung möglicherweise konkurrierender bzw. gegenläufiger Kriterien sowie bei der Festlegung von Erkundungsprogrammen essentiell sind, sollte besser herausgearbeitet werden.

## Forschungsthemen

Angesichts der Neuorientierung hinsichtlich der Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in Deutschland ergeben sich auch z.T. neue Anforderungen an die Gestaltung der diesbezüglichen Forschung. Hier soll lediglich eine (notwendigerweise subjektive) Auswahl der künftig relevanten Themen zusammengestellt werden, zu ausführlicheren Informationen vgl. (BMWi 2015, ESK 2016):

- Für die verschiedenen in Betracht kommenden Wirtsgesteine sind jeweils Behälterkonzepte zu entwickeln. Die jeweiligen Verschlusskonzepte sind weiter zu entwickeln und zu optimieren. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf Anforderungen zur Rückholbarkeit; allgemeiner sind Rückholbarkeitskonzepte (weiter) zu entwickeln und es ist zu zeigen, dass die Rückholvorgänge sicher erfolgen können.
- Es sind Abwägungsmethoden für den sicherheitsgerichteten Vergleich von Endlagersystemen in unterschiedlichen Wirtsgesteinen zu entwickeln.
- Das Verständnis und die Modellierung der verschiedenen im Endlagersystem ablaufenden gekoppelten thermischen, hydraulischen, mechanischen und chemischen<sup>9</sup> Prozesse ist weiter zu entwickeln.
- In der Vergangenheit wurden bereits umfangreiche Forschungsarbeiten zur Endlagerung im Steinsalz (insbesondere in steiler Lagerung, in Salzstöcken) durchgeführt. Noch zu klärende Fragen betreffen u. a. die Möglichkeiten einer verbesserten zerstörungsfreien Erkundung der Internstruktur von Salzformationen und eventueller Fluidvorkommen. Die sicherheitstechnische Bedeutung von Kohlenwasserstoffen sowie das Kompaktionsverhalten des Verfüllmaterials Salzgrus sind weiter zu untersuchen. Untersuchungen zu den abweichenden Bedingungen für Salzformationen in flacher Lagerung sind notwendig.
- Hinsichtlich einer Endlagerung in Tonstein ist die Entwicklung bzw. Anpassung von im Ausland vorhandenen technischen Konzepten für die deutsche Situation erforderlich. Darüber hinaus sind teufenabhängige gebirgsmechanische Effekte sowie das Diffusionsverhalten in Tonsteinformationen in Deutschland von Interesse.
- Für die Endlagerung in kristallinen Hartgesteinen sind ein Kristallin-spezifisches Sicherheits- und Nachweiskonzept zu entwickeln. Auch hier ist eine Entwicklung bzw. Anpassung von im Ausland vorhandenen technischen Konzepten für die deutsche Situation notwendig. Fragen der Standortcharakterisierung sind zu klären.

---

<sup>9</sup> Oft mit dem Kürzel „TH<sup>2</sup>MC“ bezeichnet, die hochgestellte „2“ symbolisiert Zweiphasenströmungen.

- Angesichts der Herausforderungen des sozio-technischen Prozesses der Standortauswahl ergibt sich eine Vielzahl von Fragestellungen an der Schnittstelle zwischen Naturwissenschaft und Technik einerseits sowie Gesellschaft andererseits, die Gegenstand innovativer inter- und transdisziplinärer Forschung sein müssen. Dies betrifft z. B. die Gestaltung gesellschaftlicher Prozesse, insbesondere die Entscheidungsfindung, die Balance zwischen Öffentlichkeitsbeteiligung und Übernahme von Verantwortung sowie den Umgang mit unterschiedlichen Risikowahrnehmungen.

### **Schluss: Wo stehen wir?**

Für die Entsorgung der ca. 304.000 m<sup>3</sup> radioaktiver Abfälle mit vernachlässigbarer Wärmeentwicklung wird – wenn auch deutlich später als geplant – voraussichtlich das Endlager Konrad zur Verfügung stehen. Ungeklärt ist dagegen die Frage, ob eine Rückholung der Abfälle aus dem Schacht Asse II gelingen wird und wo die zurückgeholten Abfälle dann verbleiben sollen. Gleichfalls unklar ist die Entsorgung der Urantails aus der Urananreicherung (Endlagerkommission 2015).

Hinsichtlich der hoch radioaktiven (Wärme entwickelnden) Abfälle zeichnet sich mit dem durch das Standortauswahlgesetz eingeleiteten Kompromiss – bei allen fachlichen Schwächen – doch die Möglichkeit einer Befriedung eines gesellschaftlichen Dauerkonflikts ab. Es wird sich zeigen, ob diese Chance genutzt werden kann. Angesichts der technischen und prozeduralen Herausforderungen der nächsten Jahre ist dem Erhalt und der Heranbildung der notwendigen Kompetenz, insbesondere der disziplinären und interdisziplinären Nachwuchsförderung, besondere Aufmerksamkeit zu widmen.

### **Literatur**

acatech (2013): Partitionierung und Transmutation. Forschung – Entwicklung – Gesellschaftliche Implikationen, acatech STUDIE, München: Deutsche Akademie der Technikwissenschaften.

acatech (2014): Partitionierung und Transmutation nuklearer Abfälle. Chancen und Risiken in Forschung und Anwendung, acatech POSITION, München: Deutsche Akademie der Technikwissenschaften.

BfS (2016): Abfallprognosen. [[http://www.bfs.de/DE/themen/ne/abfaelle/prognosen/prognosen\\_node.html](http://www.bfs.de/DE/themen/ne/abfaelle/prognosen/prognosen_node.html)], zuletzt eingesehen: 05.01.2016].

BMUB (2015a): Programm für eine verantwortungsvolle und sichere Entsorgung bestrahlter Brennelemente und radioaktiver Abfälle (Nationales Entsorgungsprogramm), Bonn: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.

BMUB (2015b): Verzeichnis radioaktiver Abfälle (Bestand zum 31. Dezember 2014 und Prognose), Bonn: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit.

BMUB (2015c): Pressemitteilung Nr. 341/15. Bund und Bayern erzielen Einigung zur Rücknahme von Castor-Behältern. [[http://www.bmub.bund.de/presse/pressemitteilungen/pm/artikel/bund-und-bayern-erzielen-einigung-zur-ruecknahme-von-castor-behaeltern/?tx\\_ttnews\[backPid\]=103&cHash=b9777cdc10ea319f33f6a88dda2d2d73](http://www.bmub.bund.de/presse/pressemitteilungen/pm/artikel/bund-und-bayern-erzielen-einigung-zur-ruecknahme-von-castor-behaeltern/?tx_ttnews[backPid]=103&cHash=b9777cdc10ea319f33f6a88dda2d2d73), zuletzt eingesehen: 05.01.2016].

DUTTON, M., K. HILLIS, J. STANSBY, L. KENNETT, T. SEPPÄLÄ, R.M. MACIAS, K.-J. RÖHLIG, B. HAVERKATE, P. O'SULLIVAN, A. MRSKOVA, J. PRÍTRSKÝ, J. ALONSO DÍAZ TERÁN, J.M. VALDIVIESO RAMOS, L. MORÉN, M. HUGI, P. ZUIDEMA, S. KING & B. BREEN (2004): The Comparison of Alternative Waste Management Strategies for Long-Lived Radioactive Wastes (COMPAS Project), EUR 21021 EN, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.

BMW: Forschung zur Entsorgung radioaktiver Abfälle. Förderkonzept des BMW (2015–2018). herausgegeben durch Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Referat IIA5 „Reaktorsicherheits- und Endlagerforschung, Uranbergbausanierung“ und Projektträger Karlsruhe – Wassertechnologie und Entsorgung (PTKA-WTE), Karlsruher Institut für Technologie [[https://www.ptka.kit.edu/downloads/ptka-wte-e/Foerderkonzept\\_2015-2018.pdf](https://www.ptka.kit.edu/downloads/ptka-wte-e/Foerderkonzept_2015-2018.pdf), zuletzt eingesehen: 07.01.2016]

Endlagerkommission (2015): Pressemitteilung Nr. 18/2015. Bedenken in Endlager-Kommission gegen Mehrzweck-Standort. [[http://www.bundestag.de/blob/386110/6eaf5870d3958c2934774df2330e6cd3/pressemitteilung\\_018-data.pdf](http://www.bundestag.de/blob/386110/6eaf5870d3958c2934774df2330e6cd3/pressemitteilung_018-data.pdf), zuletzt eingesehen: 25.02.2016].

Endlagerkommission (2016): Kommission Lagerung hoch radioaktiver Abfallstoffe, Abschlussbericht. Verantwortung für die Zukunft. Ein faires und transparentes Verfahren für die Auswahl eines nationalen Endlagerstandorts. Berlin

ESK (2015): DISKUSSIONSPAPIER der Entsorgungskommission. Partitionierung und Transmutation (P&T) als Option für die nukleare Entsorgung Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle in Deutschland. [[http://www.entsorgungskommission.de/sites/default/files/reports/diskussionspapierput18062015\\_0.pdf](http://www.entsorgungskommission.de/sites/default/files/reports/diskussionspapierput18062015_0.pdf), zuletzt eingesehen: 07.01.2016].

ESK (2016): STELLUNGNAHME der Entsorgungskommission. Endlagerforschung in Deutschland: Anmerkungen zu Forschungsinhalten und Forschungssteuerung [<http://www.entsorgungskommission.de/sites/default/files/reports/stnendlagerforschung12052016.pdf>, zuletzt eingesehen: 01.02.2017]

IAEA (2009): Classification of Radioactive Waste. General Safety Guide, IAEA Safety Standards Series No. GSG-1, Vienna: International Atomic Energy Agency.

MCCOMBIE, C., T. ISAACS, N. BIN MUSLIM, T. RAUF, A. SUZUKI, F. VON HIPPEL & E. TAUSCHER (2010): Multinational Approaches to the Nuclear Fuel Cycle, Cambridge: American Academy of Arts and Sciences.

StandAG (2013): Gesetz zur Suche und Auswahl eines Standortes für ein Endlager für Wärme entwickelnde radioaktive Abfälle, Standortauswahlgesetz vom 23. Juli 2013 (BGBl. I S. 2553).



## Die Zisterzienser-Klosterkirche Riddagshausen Zu Einzelheiten ihres Aufbaus\*

HARMEN H. THIES

Rodeweg 3, D-38162 Cremlingen, e-Mail: hh.thies@gmx.de

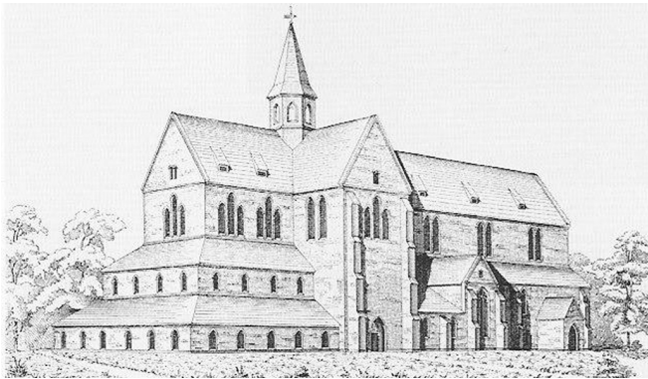


Abb. 1: Riddagshausen, Klosterkirche von Nordosten.

Die Kirche des ehemaligen Zisterzienser-Klosters Riddagshausen zählt neben den Resten der Zisterzienser-Kirche in Walkenried und dem Neubau des Magdeburger Doms zu jenen Bauten des frühen 13. Jahrhunderts in der Mitte Deutschlands, an denen das Aufgreifen und Anverwandeln von Strukturen und Formen der französischen und burgundischen Gotik kennen zu lernen ist.<sup>1</sup> Die

\* Der Vortrag wurde am 13.08.2016 anlässlich des Sommerfestes der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

<sup>1</sup> Einführendes zu diesem Themenkomplex: V. C. Habicht: Der Niedersächsische Kunstkreis, Hannover 1930. Martin Gosebruch: Vom oberrheinisch-sächsischen Weg der Kathedralgotik nach Deutschland, Göttingen 1983 (Schriftenreihe der Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte bei der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft, Band 1). Ernst Ullmann (ed.): Der Magdeburger Dom – ottonische Gründung und staufischer Neubau, Leipzig 1989 (Schriftenreihe der Kommission für Niedersächsische Bau- und Kunstgeschichte bei der BWG, Band 5).

Feststellung, dass der noch junge Orden der Zisterzienser der Gotik außerhalb Frankreichs den Weg bereitet habe, gehörte zum Handbuchwissen des 19. Jahrhunderts. So Wilhelm Lübke 1886: „Die Benediktiner, bis ins 12. Jahrhundert hinein die vornehmsten Träger und Förderer der Architektur, treten schon gegen den Ausgang der romanischen Epoche zurück und räumen den Cisterziensern das Feld, die für die Verbreitung des frühgothischen Styles entscheidend wurden. Sie erfaßten schnell das Rationelle der neuen Bauweise, betonten mit Nachdruck in ihren geräumigen, hohen, lichten Kirchen das Wesentliche des Styles und wussten demselben auch außerhalb Frankreichs, in Deutschland, England und selbst in Italien und Spanien Eingang zu verschaffen.“<sup>2</sup> Oder Georg Dehio und Gustav v. Bezold 1901: „Die frühesten und ihre Arme am weitesten ausstreckenden Vermittler [der Gotik] waren die Cistercienser. Auf sie lässt sich der Begriff der Schule in der That anwenden, doch nicht in dem sonst [...] begründeten Sinne eines geographisch oder ethnographisch begrenzten Bezirks. Was sie brachten, war etwas ganz Einseitiges: eine rudimentäre Gotik, die, unabhängig von der eigentlich französischen, aus dem Schosse der burgundischen Schule entsprungen war.“<sup>3</sup>

Nach wie vor entspricht das geläufige Bild zisterziensischer Architektur in Deutschland dieser Einschätzung. Es ist zumeist durch Beispiele gotischer Prägung bestimmt, durch Bauten, die im 13. Jahrhundert oder noch später entstanden sind. So auch Riddagshausen. Doch zeigen die Gründungsbauten des Ordens in Burgund und die ersten Tochter-Gründungen in Deutschland – allesamt Bauten, die im 12. Jahrhundert errichtet wurden – jene Merkmale romanischer Architektur, die zur Zeit und am Ort ihrer Entstehung üblich und verbreitet waren. Bauten der Zisterzienser werden auf diese Weise zu Lehrstücken des Übergangs von der Romanik (in Frankreich auch der frühen Gotik) des 12. in die Gotik des 13. Jahrhunderts, ebenso des Festhaltens und Beharrens wie des Umbildens und von Grund auf Neuformens. Um sich hier besser orientieren zu können, wird man zunächst die Entstehungsgeschichte, die frühe Verbreitung und vor allem die spezifischen Eigenheiten dieses jungen Reformordens ins Auge fassen müssen.<sup>4</sup>

Das burgundische Reform-Kloster Cîteaux war 1098 von Abt Robert und 21 Begleitern als *Novum Monasterium* gegründet worden. Es ging ihnen um die strenge Beachtung der vom hl. Benedikt formulierten Regeln eines wahrhaft mönchischen Lebens – nicht, damals noch nicht, um die Gründung eines neuen Ordens. Dies sollte jedoch bereits mit dem dritten Abt dieses *Novum Monaste-*

<sup>2</sup> Wilhelm Lübke: *Geschichte der Architektur*, Band 2, Leipzig 1886<sup>6</sup>, S. 34.

<sup>3</sup> Georg Dehio und Gustav v. Bezold: *Die kirchliche Baukunst des Abendlandes*, Zweiter Band, Stuttgart 1901, S. 253.

<sup>4</sup> Hanno Hahn: *Die frühe Kirchenbaukunst der Zisterzienser*, Berlin 1957. Matthias Untermann: *Forma Ordinis – Die mittelalterliche Baukunst der Zisterzienser*, München/Berlin 2001.

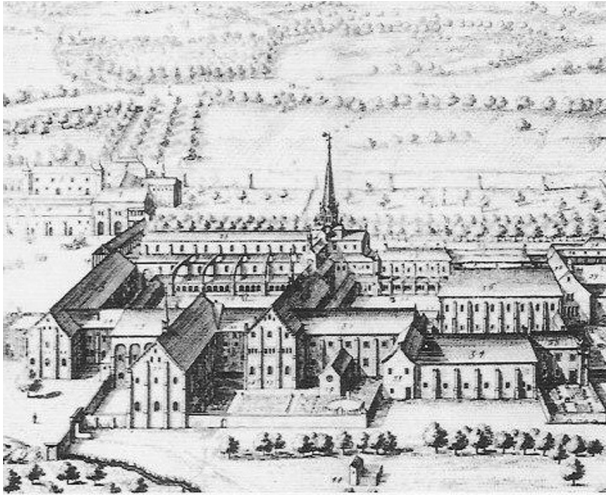


Abb. 2: Cîteaux (Vedute 1674, Ausschnitt).

rium, dem aus England stammenden Stephan Harding, und mit dem Eintritt des alsbald ebenso berühmten wie geachteten Bernhard von Clairvaux anders werden. Cîteaux (lateinisch Cistercium) wurde zur Mutter aller Zisterzienserklöster, zum Ausgangspunkt einer der bedeutendsten monastischen Gemeinschaften Europas.

Die von Cistercium-Cîteaux aus initiierte Aussendung von Äbten und Mönchen hatte zur Gründung der ersten vier Tochterklöster geführt: La Ferté 1113, Pontigny 1114, Clairvaux 1115 (mit dem fünfundzwanzigjährigen Bernhard als Abt) und Morimond, ebenfalls 1115. Von diesen fünf Primarabteien der Zisterzienser ist während der französischen Revolution das meiste zerstört worden. Nur die große Kirche von Pontigny blieb erhalten – nicht allerdings das Kloster und auch nicht der erste dort errichtete Kirchenbau. Pontigny (genauer: sein Langhaus) liefert gemeinsam mit dem vielbesuchten Fontenay das wohl wichtigste Beispiel einer burgundisch-romanischen Zisterzienser-Abteikirche vor der Übernahme und Adaption spezifisch gotischer Formen und Aufbauprinzipien aus den französischen Kronlanden.

Die straff, hieratisch und ausnehmend effektiv organisierte Mönchsgemeinschaft der Zisterzienser hatte mit regelmäßigen Visitationen der Tochterklöster durch den Abt des jeweiligen Mutterklosters, mit jährlichen Generalkapiteln aller Äbte in Cîteaux und mit der strengen Befolgung des Filiationsprinzips – der Aufsicht der Mutterklöster über die Tochter- und Enkelgründungen – dafür gesorgt, dass



Abb. 3: Fontenay (1139–1147)



Abb. 4: Pontigny (1140–1170).

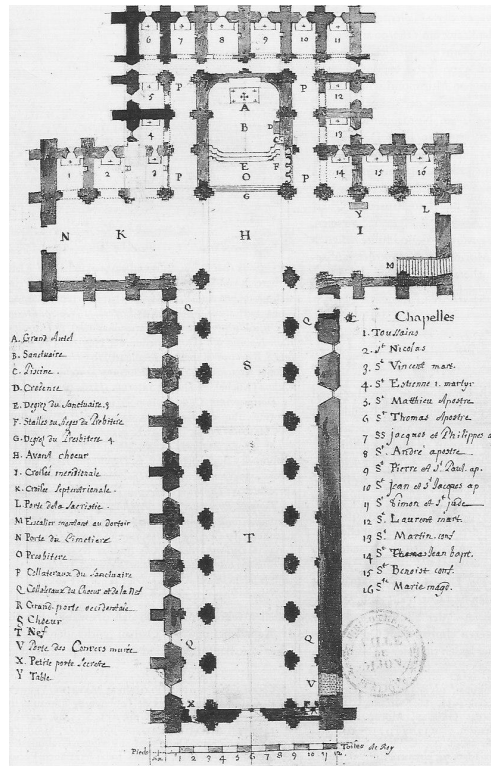


Abb. 5: Cîteaux, Grundriss (nach 1150).

die einheitliche Regel und die einheitlichen Bräuche der Zisterzienser überall ihre Geltung behielten. Dies sollte auch – so dürfen wir annehmen – für die bauliche Struktur und den Aufbau der frühen Klöster und Kirchen gelten. Die Grundrisse des nicht mehr existierenden, wohl nach 1150 begonnenen zweiten Kirchenbaus von Cîteaux und der uns allen geläufigen Klosterkirche in Riddagshausen (mit rechtwinkligen, von Umgängen und Kapellen begleiteten Chorschüssen) zeigen deutlich genug, dass ähnliche Planschemata, Bauvorschriften und -verbote Gegenstand ordensweit verbreiteter Informationen, Ratschläge und vielleicht auch Anweisungen gewesen sind – bei der Gründung von Tochterklöstern ebenso wie bei den jährlichen Abts-Versammlungen in Cîteaux.

Die kennzeichnenden Gemeinsamkeiten sind bekannt. Ein neues Zisterzienser-Kloster sollte weitab von bestehenden Siedlungen und Handelsstrassen errichtet werden, nach Möglichkeit auf neu erschlossenen Böden, in waldigen und wasserreichen Tälern oder Senken. Die Klosterbauten, die landwirtschaftlichen

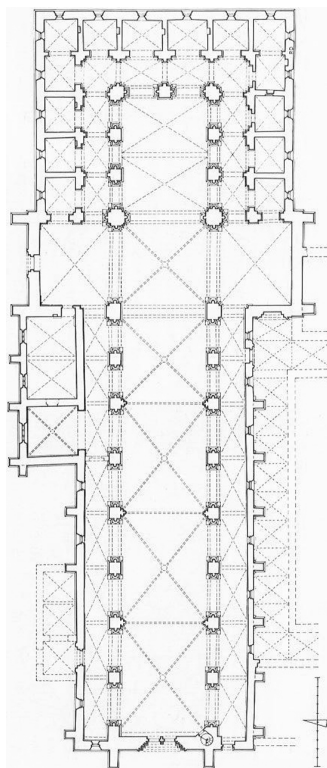


Abb. 6: Riddagshausen, Grundriss (ab 1216).

und die handwerklichen Lebens-Grundlagen sollten gemeinsam und eigenhändig erarbeitet werden. Auf Frondienste und Abgaben abhängiger Bauern wollte man verzichten, ebenso auf Einnahmen aus Verpachtungen und Zinsen. Um dies tatsächlich leisten zu können, wurden Laien-Brüder (Konversen) in die Klostergemeinschaft aufgenommen, deren Gebetsverpflichtungen gegenüber den Chormönchen deutlich vermindert waren. Kennzeichnend für die Kirchenbauten des Ordens sind ähnliche Anlageschemata, der Verzicht auf Türme, auf eine Krypta, auf Bau-Schmuck jeder Art und auf eine reiche Ausstattung.

Neben Lage und Disposition sind es vor allem der Aufbau und die Gliederung dieser Kirchen, die eine genauere Bestimmung ihrer Eigenart erlauben. So auch den Nachweis von Mustern und Anregungen, die im Zuge der Filiationen Verbreitung fanden und die Bautengruppen unterscheidbarer Typologie erkennen lassen. Gleichzeitig verweisen spezifische Merkmale des Aufbaus auf die Prä-





Abb. 7: Amelungsborn (um 1150).

senz, Geltung und anhaltende Wirkung anders gearteter und jetzt nicht durch den Orden vermittelter Architektur-Traditionen. Vergleiche der Zisterzienser-Klosterkirchen in Amelungsborn und Mariental mit der kurz zuvor errichteten Klosterkirche in Hamersleben (Augustiner-Chorherren), alles Bauten des sächsisch-romanischen 12. Jahrhunderts aus unserer Region, lassen dies auch im Hinblick auf Riddagshausen deutlich werden.

Amelungsborn (bei Stadtoldendorf) gehört zu den ältesten Niederlassungen der Zisterzienser in Deutschland. 1135 war es mit Mönchen aus Kamp besiedelt worden (heute Kamp-Lintfort zwischen Duisburg und Geldern am Niederrhein), Kamp seinerseits 1123 als Filia der Primarabtei Morimond. Von Kamp aus wurden 1125 Ebrach im Steigerwald und – für uns besonders wichtig – 1129 Walkenried am Südrand des Harzes besiedelt. Amelungsborn selbst war das Mutterkloster des 1145 gegründeten Riddagshausen. Das Langhaus der Klosterkirche von Amelungsborn sowie Teile seines Querhauses und der Vierung sind um 1150 errichtet worden. Sie sind wohl erhalten: eine flachgedeckte Basilika mit Querhaus und einem ursprünglich vermutlich dreiapsidalen Chor, der im 14. Jahrhundert durch einen rechtwinklig geschlossenen gotischen Umgangschor ersetzt wurde. Mariental, nordwestlich von Helmstedt, war 1138 von Zisterziensern aus Altenberg gegründet worden (Morimond-Filiation). Der Bau wurde im Osten begonnen. Das Langhaus der Pfeilerbasilika mit Vierung, Querarmen und rechtwinkligem Chorschluss entstand um die Mitte des 12. Jahrhunderts, die



Abb. 8: Mariental (um 1150).



Abb. 9: Hamersleben (vor 1130).



Einwölbung des Chorquadrums mit Bandrippen auf Winkelsäulen und Konsolen erst später (vielleicht um oder nach 1200). Auch der (die erste Anlage erweiternde) Westbau mit seiner Fassade wird später entstanden sein.<sup>5</sup>

Hier wie dort hat man auf allen Schmuck und alle weitergehende Gliederung verzichtet, auf alles, was nicht durch die angestrebte Einfachheit, Solidität und Dauerhaftigkeit des Aufbaus zu rechtfertigen war. Dies wird deutlich, wenn wir Amelungsborn und Mariental mit der bis etwa 1130 errichteten Augustiner-Chorherren-Kirche in Hamersleben vergleichen, nach Anlage und Aufbau einem denkbaren Vorbild für diese beiden Zisterzienser-Kirchen. In allen drei Fällen handelt es sich um flachgedeckte Basiliken. In Hamersleben ist es eine Säulenbasilika, deren rechtwinklige Arkadenrahmungen gemeinsam mit anderen Merkmalen auf das 1124 geweihte Paulinzella und andere Benediktiner-Klosterkirchen der Hirsauer Reform verweisen. In den Langhäusern der beiden Zisterzienserkirchen hingegen müssen uns der rheinisch genannte Wechsel von Pfeilern und Säulen (in Amelungsborn) und die noch einmal schlichtere Pfeilerfolge (in Mariental) auffallen. Hier wie dort trennen horizontale Gesimbsbänder die Arkaden der Untergeschosse von den hohen, verputzten Obergadenwänden mit ihren einfachen, in die Bogenachsen gesetzten Fenstern. Sorgfältig gearbeitetes Quaderwerk zeichnet alle drei Bauten aus. Unterschiede werden sichtbar, wenn man die Kapitelle und ihren Schmuck ins Auge fasst. Während Hamersleben mit unterschiedlichen Typen und vor allem einer dekorativ-figürlichen Durchbildung hoher Qualität aufwartet, gibt es in Amelungsborn nur einen Kapitelltypus: das seit dem 11. Jahrhundert weitest verbreitete Würfel- oder Schildkapitell. In Mariental sind es statt der Kapitelle nur noch Kämpferplatten.

Hier galten offenbar die berühmten Mahnungen des Bernhard von Clairveaux, überliefert in seiner 1124/25 geschriebenen *Apologia*.<sup>6</sup> Dort geißelt er „die grenzenlose Höhe der Bethäuser, ihre übermäßige Länge und unnötige Breite, ihre kostspieligen Marmorarbeiten und die staunenerregenden Malereien.“ Denn: „Dies alles zieht den Blick der Betenden auf sich und hindert die Andacht.“ „Wozu dienen [heißt es weiter, und gemeint sind figürlich dekorierte Kapitelle], wozu dienen [...] jene lächerlichen Ungeheuer, jene wundersam missgestalteten Schönheiten und schöne Missgestalt?“ [...] „Mit einem Wort, es zeigt sich überall eine so große und so seltsame Vielfalt verschiedener Gestalten, dass einen mehr die Lust ankommt, in den Marmorbildern [der Kapitelle zumal] statt in den Büchern zu lesen, dass man eher den ganzen Tag damit verbringen möchte, diese Dinge eins nach dem anderen zu bewundern, statt über das Gesetz Gottes nachzudenken. Bei Gott, wenn man sich schon nicht dieser Albernheiten schämt,

<sup>5</sup> Das Zisterzienserkloster Mariental bei Helmstedt: 1138-1988 (ed. Braunschweigischer Vereinigter Kloster- und Studienfond, Christof Römer), München 1989<sup>2</sup>.

<sup>6</sup> Untermann 2001, S. 99 ff.

warum tut es einem nicht wenigstens um die Kosten leid?“ Es gibt weitere Äußerungen Bernhards, die „diese neue Wende zur ausdrücklichen Demonstration klösterlicher Armut“ (Untermann 2001) untermauern, etwa der Satz, ebenfalls aus der Apologia: „Im Äußeren gezeigter Überfluss ist ein Anzeichen innerer Leere“. In allen Bereichen des klösterlichen Lebens der Zisterzienser sollten puritas und simplicitas bestimmend bleiben, auch für die Architektur des Ordens.

Gleichzeitig ist zu beobachten, dass die frühe Architektur der Zisterzienser aus dem Kontext regionaler Bautraditionen heraus zu verstehen ist. Während bei Anlage und Grundriss dieser Kirchen zunehmend zisterziensische Grundmuster zum Tragen kamen, blieben der weitere Aufbau und die Gliederung heimischen Traditionen verpflichtet. Allerdings so, dass aller Überfluss und alle Vielgestalt zugunsten einfachster Lösungen vermieden wurden. Funktionalität, Solidität und eine das Schlicht-Streng mit dem Monumentalen verbindende Wirkung waren angestrebt und wurden sicherlich auch propagiert. Im Laufe der Jahre und Jahrzehnte sollte sich diese Grundhaltung allerdings wandeln – zumindest im Hinblick auf den architektonischen Aufwand und das zunehmende Herausstellen tragend-gliedernder Strukturen. Am Verzicht auf Figürliches, auf eine reiche und vierteilige Erscheinung des Äußeren hielt man jedoch lange fest.

Ein größerer architektonisch-konstruktiver Aufwand nun ist vor allem dort zu beobachten, wo Abkragungen und Konsolen das Innenbild eines Zisterzienserbaus bestimmen. Das sind in die Wand einbindende Stützen unterschiedlichster Ausformung, die – stets oberhalb des Bodens – aus Pfeilermassiven oder Mauerwerk herauszuwachsen scheinen. Diese Abkragungen oder Konsolen haben jene Tragglieder zu unterfangen, die als Vorlagen, Dienste oder Bogen den weiteren Aufbau der Gewölbe strukturieren. Denn nur dort kommen sie vor. Sie sind eines der auffallendsten Merkmale zisterziensischer Architektur und kennzeichnen auch jene Bauten, die seit langem die kunst- und architekturgeschichtliche Diskussion um den Beginn der Gotik in Deutschland begleiten. Dazu gehören der Dom in Magdeburg (begonnen 1209) mit seiner Bischofsgang genannten Chorumgangsempore (um 1230), die Michaelskapelle des Zisterzienserklosters Ebrach im Steigerwald (mit einem überraschend frühen Weihedatum: 1207) und das Zisterzienserkloster Maulbronn mit seiner Vorhalle (Paradies), dem Kreuzgang und dem Herrenrefektorium (um 1210 bis 1225). In unserer Region gehören die Zisterzienserklöster Walkenried und Riddagshausen in diesen Kontext.<sup>7</sup>

Riddagshausen wird man besser verstehen und einordnen können, wenn dies auffallende Merkmal zisterziensischer Architektur für sich ins Auge gefasst und

<sup>7</sup> Wolfgang Bickel: Riddagshausen, Untersuchungen zur Baugeschichte der Abteikirche, Braunschweig 1968 (Braunschweiger Werkstücke 40). Der Magdeburger Dom 1989 (s. Anm. 1). Bernd Nicolai: *Libido aedificandi*, Walkenried und die monumentale Kirchenbaukunst der Zisterzienser um 1200, Braunschweig 1990 (Quellen und Forschungen zur Braunschweigischen Geschichte 28). Untermann 2001 (s. Anm. 4).



Abb. 10: Riddagshausen, Vierung und Querarm.

Fragen zur Anlage, zur Grundrissbildung und zum übrigen Aufbau zunächst beiseite gelassen werden. Kombinationen von Konsolen und Wandträgern finden wir in Riddagshausen in den Seitenschiffen des Langhauses, in den Öffnungsbogen der Seitenschiffe zu den Querarmen hin und (weniger auffallend) unter den Gewölben des Chorarms und hinter der Westfront. Bemerkenswert sind vor allem die beiden Vorlagen- und Konsolen-Gruppen unter dem westlichen Vierungsbogen. Im Einzelnen unterfangen sie zunächst die breiten, kantig-rechtwinkligen Pfeilervorlagen und dann – über jeweils mittig und isoliert vor die Pfeiler gesetzte Sonderkonsolen – die ins Quaderwerk dieser Vorlagen einbindenden Dreiviertel-Säulen (Dienste) zur Unterstützung der Unterzüge des westlichen Vierungsbogens. Ergänzt und begleitet werden sie von schräg gestellten Winkelkonsolen, die – zur Vierung hin – die beiden ebenso hohen wie schlanken (und jetzt gewirbelten) Dienste unterfangen, die gemeinsam mit ihren vom Boden hoch aufsteigenden Gegenstücken auf der diagonal gegenüberliegenden Seite das Rippenkreuz des Vierungsgewölbes tragen. Dort werden sie zur Einheit eines Dienst-Rippen-Baldachins versammelt.<sup>8</sup>

<sup>8</sup> Zur Struktur und Bedeutung von Baldachinen: Hans Sedlmayr, *Die Entstehung der Kathedrale*, Zürich 1950. Der Begriff und seine Konnotationen haben zu kontroversen Diskussionen geführt.



Abb. 11 links: Riddagshausen, nördliche Konsolengruppe im westlichen Vierungsbogen.  
Abb.12 rechts: Riddagshausen, südliche Konsolengruppe im westlichen Vierungsbogen.

Innerhalb der auskragenden und seriell gereihten Blattfolgen dieser beiden breit ansetzenden Vorlagenkonsolen lassen sich je drei einzelne Sonderkonsolen unterscheiden, die – einer vor die Pfeilerfront gesetzten Aufbauachse folgend und ohne von unten gestützt zu werden – ihrerseits aus Kelchen und Blättern konfiguriert erscheinen. Links, rechts und mittig sind sie in das Kontinuum der gereiht auskragenden Blattfolgen der breiten Konsolbänke gebunden. Sie scheinen Stützglieder tragen zu wollen (vielleicht Dienste?), die im weiteren Aufbau der Pfeilervorlagen allerdings nicht ausgeführt sind. Hat man die hier zu erwartenden Stützglieder bewusst weggelassen? Sind sie durch die jeweils mittig darüber neu einsetzende Kelchkonsole mit ihrer Dreiviertelsäule ersetzt worden? Sind die sich isolierenden Einzelkonsolen damit Reste einer vorhergehenden und nicht weiterverfolgten Planung? Diese Fragen werden um so weniger einfach zu beantworten sein, als diese beiden Kombinations-Konsolen auf der Nord- und der Südseite sich in Einzelheiten unterscheiden – wenig, aber deutlich genug, um auch hier Diskontinuitäten im Zuge des Entwurfs- und Planungsprozesses vermuten zu dürfen.

Jetzt wird zudem auffallen, dass in den zuerst errichteten Teilen der Klosterkirche (das heißt: im Chorumgang mit seinen Kapellen, im Chor-Mittelschiff und in den beiden Querarmen) nur zugespitzte Kreuzgratgewölbe bzw. Kreuztonnen



Abb. 13: Riddagshausen, westliche Vierungspfeiler.

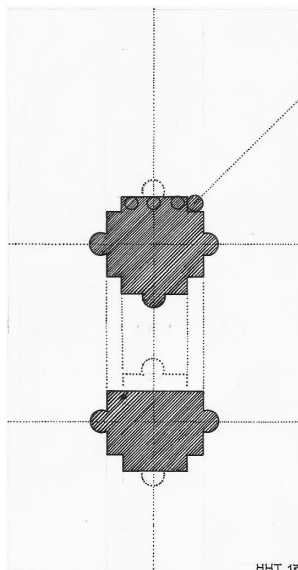


Abb. 14: Riddagshausen, Aufbauschema des südwestlichen Vierungspfeilers

vorkommen – ebenso in den Seitenschiffen des Langhauses. Allein das Vierungsquadrat ist durch das bereits genannte Rippengewölbe auf hohen, schlanken Diensten ausgezeichnet. Die auffallenden, nur hier vorkommenden Schaftringe dieser Dienste binden in das Quadermauerwerk der Pfeiler ein, um den fragilen Stand der zylindrischen, für sich kaum tragfähigen Dienstschäfte zu sichern. Die ganz anders vorbereiteten und ganz anders profilierten Dienst-Rippen-Gewölbe des Langhauses sind erst später, in einer nachfolgenden Bauphase, errichtet worden – wohl nach 1260. Leider hat die moderne Bemalung der Kreuztonnengewölbe im Chor und in den Querarmen dazu geführt, dass die Sonderstellung und formale Auszeichnung der liturgisch-funktional ebenso wie architektonisch zentralen Vierung mit ihrem Rippenkreuz und ihren vier schlanken Diensten kaum noch ins Auge fällt. Die Grate dieser Kreuztonnengewölbe werden von farbig dekorierten Bahnen begleitet, die nach Breite und Erscheinung Rippen fingieren – kräftig vortretende Bogenprofile, die hier gar nicht existieren.

Nächste Verwandte dieser beiden bemerkenswerten Konsolen-Gruppen unter dem westlichen Vierungsbogen in Riddagshausen sind im Zisterzienser-Kloster Mariental zu finden. Dort war auf der Südseite der romanischen Kirche in den zwanziger Jahren des 13. Jahrhunderts ein frühgotischer Kreuzgang errichtet worden, der zwar 1835 abgetragen wurde, von dessen Nordflügel aber die Anschlüsse seiner ehemaligen Gewölbe an die Südseitenschiffswand der Klosterkirche noch deutlich zu erkennen sind. Wie in Riddagshausen sind es auch hier aus größeren Werkstücken gefügte und in das tragende Mauerwerk der Kirche eingebundene Kombinations-Konsolen. Deutlich lassen sich die Aufgaben der im Wandkörper wurzelnden Einzelkonsolen erkennen – ihre strukturell-architektonische Funktion. Sie erklären sich im Hinblick auf die nicht mehr existierenden, nach Aufbau und Struktur aber einwandfrei zu rekonstruierenden Kreuzgang-Gewölbe.

Innerhalb der architektonisch-figürlichen Einheit dieser zum Teil wohl erhaltenen Kombinations-Konsolen in Mariental sind jeweils fünf Einzelkonsolen zu unterscheiden. Sie stützen unterwärts gekappte Rundstäbe (Dienste) mit den jeweils zugehörigen Kapitellen und Deckplatten. Was der Konsole an einer Stelle in Folge von Verwitterung oder Abbruch fehlt, ist anhand von Korrespondenzstücken an anderer Stelle zu ergänzen. Denn alle Teilformen der Gruppe sind im Sinne ein und derselben Systematik figürlich gebunden. Der weitere Aufbau des Kreuzgang-Gewölbes lässt sich oberhalb dieser fünf Einzelkonsolen und Dienststummel gut vorstellen und beschreiben: Am weitesten tritt die mittlere Konsole vor – weiter als ihre Nachbarn, indem sie aus einer kantigen, ihrerseits eine Konsole bildenden Vorlage entwickelt ist. Sie hat den rechtwinklig zur Wand geschlagenen, die Jochgrenzen des Kreuzgang-Gewölbes markierenden Gurtbogen zu stützen. Auf der (gemeinsam mit dem Gewölbe abgerissenen) Außenseite des Kreuzgangs ist sein Gegenstück zu denken. Die links und rechts anschließenden, neben die mittlere Vorlage gesetzten Dienst-Konsolen hatten die diagonal und





Abb. 15: Mariental, Kreuzgangkonsole.



Abb. 16: Mariental, Kreuzgangkonsole neben dem östlichen Eckjoch.

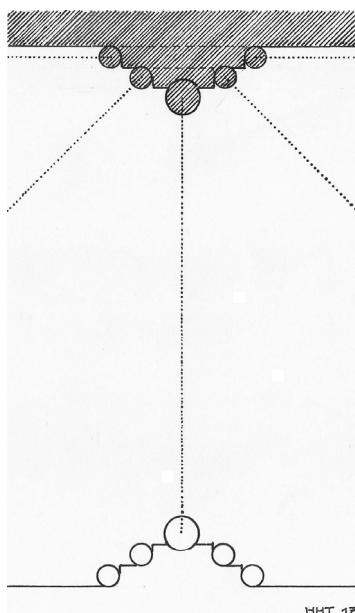


Abb. 17: Mariental, Aufbauschema der Kreuzgangkonsolen.

also schräg zur Wand verlaufenden, im Scheitel des ehemaligen Gewölbes sich kreuzenden Rippen zu tragen. Gemeinsam mit der Gurtbogen-Konsole wurzeln sie in einer breiteren, weniger weit aus dem Wandkontinuum vortretenden Vorlage. Sie sind damit Teil einer symmetrisch organisierten Untergruppe, die aus den beiden Diagonalrippen-Konsolen, der Gurtbogen-Konsole und ihrer Rücklage kombiniert erscheint. Zwischen die Mauerwerksoberfläche und diese breitere Vorlage sind links und rechts außen zwei weitere Dienst-Konsolen gesetzt. Sie gehören zu jenen die Wand begleitenden Schildbogen, deren Verlauf an einigen nur fragmentarisch erhaltenen Werkstücken zu verfolgen ist. Sie markieren den Anschluss der Gewölbekappen an das Mauerwerk.

Die Anordnung, das System, die Blattformen, ihre Reihung und Verschränkung sowie manche andere Einzelheit begründen den Vergleich der Kombinations-Konsolen im westlichen Vierungsbogen von Riddagshausen mit den Kreuzgang-konsolen in Mariental. Vor allem die breit vortretenden, von Blattserien unterstützten Pfeiler-Konsolen und ihre Formen weisen manche Übereinstimmung auf. Ob dies als Datierungs-Argument zu nutzen ist, soll hier nicht diskutiert werden. Manches spricht für das Vorausgehen von Riddagshausen. Und wenn wir mit Wolfgang Bickel dort einen Baubeginn um 1216 annehmen, könnte



die Datierung der Kreuzgang-Konsolen in Mariental gut dazu passen: 1224/25 (Hans-Henning Grote).

Von den bereits genannten Bauten, die Frühgotisches oder Zisterziensisches erkennen lassen (Magdeburg, Ebrach, Maulbronn, Walkenried), liefern vor allem das Paradies, der Kreuzgang und das Herrenrefektorium des Zisterzienser-Klosters Maulbronn Hinweise zum Verständnis der bemerkenswerten Kombinations-Konsolen in Riddagshausen und Mariental. In Maulbronn sind die Stützglieder der sechsteiligen Gewölbeeinheiten des Kreuzgangs ebenfalls von Konsolen und Abkragungen unterfangen, die in Stufen vor das Wandkontinuum gesetzt sind und unterwärts gekappte Dienste zu stützen haben. Zu unterscheiden sind auf der Wandseite Hauptträger mit je drei (plus zwei Konsolen weiter oben für Schildbogen) und Nebenträger mit nur einem Konsoldienst (und zwei weiteren – ebenfalls für Schildbogen). In der Dreiergruppe ist ein mittig angeordneter und auf eigener Konsolvorlage um eine Stufe weiter herausgestellter Dienst mit zwei Konsoldiensten kombiniert, die zu Seiten der mittleren Vorlage schräg und direkt vor die Wand gesetzt sind. Der vereinzelt aus der Wand kragende Konsoldienst zwischen den Dreiergruppen und Hauptträgern stützt den Zwischengurt der sechsteiligen Gewölbeeinheiten.

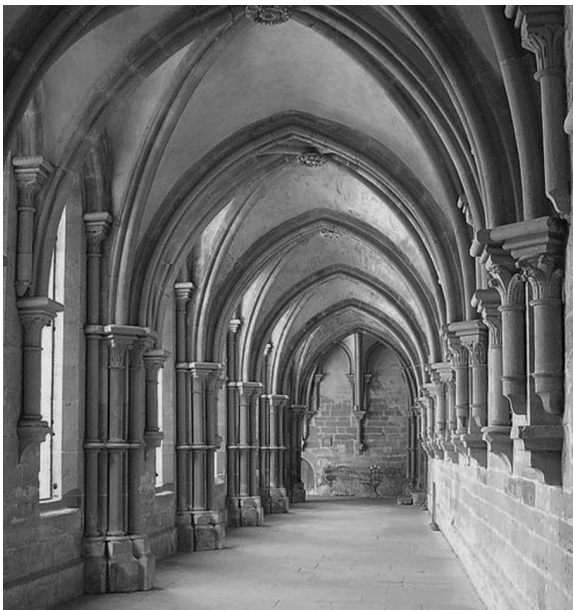
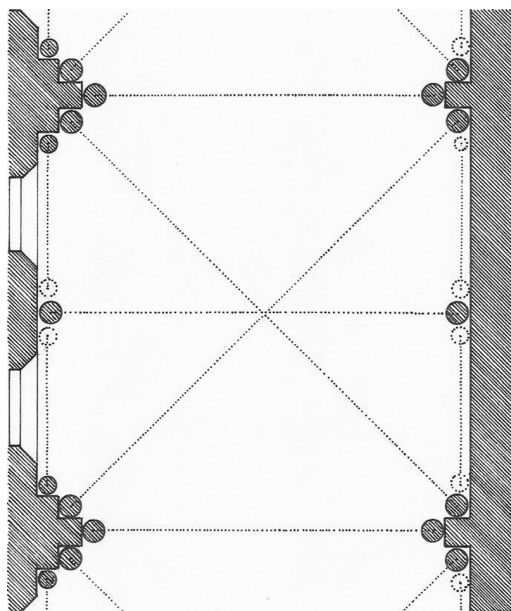


Abb. 18: Maulbronn, Kreuzgang.



19 Maulbronn, Aufbauschema eines Kreuzgangjoches.

Gemeinsam mit ihren Gegenstücken auf der Außenseite des Kreuzgangs haben diese aus der Wand herausgestellten Konsoldienste den jochteilenden Gurt, die beiden Diagonalrippen und den Zwischengurt der Gewölbe zu richten und zu stützen. Auf der Fensterseite außen gibt es zusätzliche Dienstkonsolen, die Schildbogenprofile parallel zur Wandoberfläche tragen. Auf der Wandseite setzen die entsprechenden Schildbogenkonsolen erst weit oben an. Die Hauptträger sind damit fünfteilig, die Zwischenstützen dreiteilig aufgebaut. Bemerkenswert ist die Isolierung der Elemente, ihr Freistellen gegenüber dem Wandgrund und den jeweils benachbarten Bauteilen – auffallend vor allem an den zylindrischen Dienstschaften. Vollrund und ohne körperliche Bindung sind sie vor die Wand und neben benachbarte Vorlagen gestellt, nur oben und unten gesichert. Erst die Konsolen, Kapitellköpfe und Deckplatten, an der Fensterwand zudem die Basen und Schafringe dieser (für sich kaum tragfähigen) Dienste stellen jene materiell-konstruktiven Verbindungen zum tragenden Mauerwerk her, die das vielteilige Gerüst dieser aufwendigen Struktur sichern.

Auch für das Auge und die anschauliche Wirkung ist das Isolieren, Freistellen und Absondern der Aufbaueinheiten entwurfsentscheidend gewesen. Wir können Stütz-Bogen-Rahmen als die konstitutiven Einheiten aus der Fügung des Ganzen herauslösen und auf diese Weise den (erst einmal) in Elemente zerle-

genden und (anschließend dann) gruppierenden Aufbau dieser Dienst-Rippen-Struktur besser begreifen, das bewusst so Gemachte des Gefüges. Analyse und Re-Synthese der Struktur greifen dabei ineinander. In Maulbronn gehört zur Bindung der Teile, zur anschaulichen Synthese des Isolierten und Vereinzelten dann auch die Anordnung identisch-vergleichbarer Aufbauteile und Formen auf jeweils einer gemeinsamen Höhe, ihre Hinterlegung durch ein und dasselbe Wandkontinuum.

Was hier in Maulbronn zu beobachten ist, gilt – mit Abstrichen selbstverständlich, die den jeweils konkreten Fall bestimmen – für die Michaelskapelle des Zisterzienser-Klosters Ebrach, für die Ruine der Zisterzienser-Klosterkirche Walkenried und für den so genannten Bischofsgang des Magdeburger Doms – er könnte von zisterziensischen Bauleuten errichtet worden sein. An den Kreuzgang-Konsolen in Mariental und den damit zu vergleichenden Bank-Konsolen im westlichen Vierungsbogen von Riddagshausen jedoch – Bauten, die mit einiger Sicherheit erst im Anschluss an Maulbronn errichtet wurden – wird der Vergleich entscheidende Unterschiede zu erkennen geben, gleichzeitig Hinweise auf ihre Eigenart und Sonderstellung.

Die am Beispiel des Kreuzgangs in Maulbronn beschriebene Systematik bestätigt, was in Mariental zu rekonstruieren ist: Die mittlere, auf eigener Rücklage am meisten vortretende der fünf hier zu einer Baufigur versammelten Dienst-Konsolen hatte den jochteilenden Gurtbogen zu tragen, die beiden rechts und links davon um eine Stufe zurückgesetzten die Diagonalrippen und die beiden äußeren, direkt und ohne Rücklage der Wand vorgelegten die Schildbogen. Dass wir dort ein sechsteiliges und hier in Mariental ein vierteiliges Rippengewölbe miteinander vergleichen, ändert nichts an der beiden Bauten zu Grunde liegenden Logik und Systematik des Aufbaus. Zusammen mit den der Wand eingebundenen und häufig als Hornkonsolen ausgebildeten Abkragungen gehört diese Systematik zu den auffallendsten Merkmalen zisterziensischer Architektur in Deutschland.

Und dennoch gibt es einen Unterschied, der die Konsol-Gruppen in Mariental von denen in Maulbronn absetzt und gleichzeitig in die Nähe der bemerkenswerten Kragstützen im Vierungsbogen von Riddagshausen rückt. In Mariental sind es langstielige, aus jeweils gemeinsamer Wurzel aufwachsende Blattfächer, die als Konsolen die ihnen aufgesetzten Dienste oder Dienststummel stützen. Ihr Wachstum, ihre Beugung, ihre Windung und Kombination zu Gruppen und Reihen ineinander verschränkter Blattfiguren bestimmen das Bild und den Charakter dieser vegetabilen Stützgebilde. Obwohl die Kombinations-Konsolen im westlichen Vierungsbogen von Riddagshausen den Systemzusammenhang von Konsolstütze und Dienst vermissen lassen (in Mariental war dies mit Maulbronn zu vergleichen), sind auch hier die Einzelheiten der im Detail noch reicheren Blattbildung und Gruppierung ähnlich. Vor allem die beiden, aus gereihten Blattfächern zusammengesetzten Konsolbänke unter den breiten Pfeilervorlagen

und die drei, jeweils frei davor wurzelnden und an Dienst-Konsolen erinnernden Blattkelche scheinen gemeinsamen Aufbaugesetzen zu folgen.

In Maulbronn dagegen sehen wir abstrakt geformte Architekturstücke, die als Träger der Dienste und Gewölbebogen aus der Wand vorkragen: Schild- oder Hornkonsolen mit eigenen Deckplatten, die bewusst auf den Reichtum vegetabilen oder gar figürlichen Schmucks verzichten – ganz wohl im Sinne zisterziensischer Bautraditionen. Blattformen und Blattkombinationen, die mit Riddagshausen (und Mariental) zu vergleichen sind, zeigen sich in Maulbronn allenfalls auf jenen Kelch- oder Kelch-Knospen-Kapiteln, deren Vergleichsstücke in Riddagshausen die Gurte und Schildbogen der hohen Kreuztonnen-Gewölbe (in Chor und Querarmen) stützen, vor allem aber die Kreuzrippen des architektonisch herausgestellten, von schlanken Diensten mit Schafringen (Wirteln) vorbereiteten Vierungsgewölbes. Sie setzen Architekturformen voraus, die über Maulbronn oder andere Bauten dieser Gruppe vermittelt worden sind. Dasselbe gilt dann für die ähnlich gut vergleichbaren Sockel und Teller-Basen dieser Dienste.

Die Eigenständigkeit und Sonderstellung von Riddagshausen – auch gegenüber dem geläufigen Bild zisterziensischer Architektur im frühen 12. Jahrhundert – wird mit Blick auf die Ausbildung der Gewölbe im Ostbau und in den Seitenschiffen deutlich. Einerseits hält man dort an lokalen Traditionen fest, die durch die Stiftskirche und Grablage Heinrichs des Löwen in Braunschweig begründet waren, durch den romanischen, 1173 begonnenen Dom mit seinen auffallend zugespitzten Kreuztonnen-Gewölben. Andererseits kennt man, offensichtlich, die neuesten Entwicklungen der ordenseigenen Baukunst, indem die Anordnung und systematische Gruppierung von Konsolen, Diensten und Bogenanfängern jetzt frühgotischer Rippengewölbe vor und aus der tragenden Wand heraus bekannt war – und dennoch nicht im Sinne des Maulbronner Schemas aufgegriffen und baulich umgesetzt wurde. Die Hornkonsolen und gurttragenden Dienste in den Seitenschiffen von Riddagshausen, die ausladenden Basen, gewirbelten Dienste und Kelch- bzw. Kelch-Knospen-Kapitelle des Gewölbe-Aufbaus, vor allem aber die bemerkenswerten Kombinations-Konsolen im westlichen Vierungsbogen machen es evident.

In Riddagshausen scheinen sich Einzelheiten des Aufbaus und der formalen Durchbildung den zunächst vermuteten Abhängigkeiten von zisterziensischen Baugewohnheiten zu entziehen. Zu Teilen erklären sie sich durch das Festhalten an regionalen Bautraditionen (Kreuztonnen-Gewölbe), ebenso aber auch durch die prägende Wirkung allgemeiner Entwicklungen in der Architektur des frühen 13. Jahrhunderts, zu denen der eingangs genannte ‚Übergang‘ von der Romanik in die Gotik zählt.<sup>9</sup> Riddagshausen gehört – wie zu zeigen war – in diesen Kon-

9 Zur Kirchenarchitektur in Braunschweig im Anschluss an den Dom: Reinhard Dorn: *Mittelalterliche Kirchen in Braunschweig*, Hameln 1978.



Abb. 20: Braunschweig, Dom.



Abb. 21: Laon, Kathedrale.





Abb. 22: Braunschweig, Dom, Grabmalkonsole.



Abb. 23: Riddagshausen, Marien-Konsole.

text. Wollte man den Rahmen abstecken, innerhalb dessen dieser ‚Übergang‘ zu verfolgen ist, dann wäre erheblich weiter auszuholen und daran zu erinnern, dass die frühgotische Kathedrale von Laon (um 1160 bis 1200) und der romanische Dom in Braunschweig (1173 bis etwa 1195) nahezu gleichzeitig entworfen und gebaut worden sind. Und wollte man die Diskussion ‚auf den Punkt‘ bringen, müssten die Datierungsvorschläge für das Grabmal Heinrichs des Löwen und Mathildes im Braunschweiger Dom rekapituliert, revidiert und neu gewichtet werden. Denn dazu gehören neben den beiden Liegefiguren und ihren Blatt-Konsolen auch die frühgotischen Dreipass-Fenster oberhalb des Grabmals mit ihren schlichten, ‚zisterziensisch‘ wirkenden Kelchkapitellen. Für die Figuren-Konsolen gibt es Vergleichsstücke in Riddagshausen, etwa in der nach Grundform und Aufbau ähnlich organisierten Blatt-Konsole der Marienstatue über dem Haupt- und Westportal. Was ist hier wem vorauszusetzen? Und wo haben wir die entscheidenden Anregungen zu suchen? Um begründet antworten zu können, müssten neben dem zisterziensischen auch andere Wege verfolgt werden – zum Beispiel der von Martin Gosebruch 1983 so genannte „oberrheinisch-sächsische Weg der Kathedralgotik nach Deutschland“.



## **Blumenbachs Sammlungsobjekte Fortschritte in der Erforschung und Digitalisierung\***

PROF. DR. JOACHIM REITNER

Georg-August-University Göttingen, Geowissenschaftliches Zentrum, Abt. Geobiologie,  
Goldschmidtstr. 3, D-37077 Göttingen, E-Mail: jreitne@gwdg.de

### **Wer war Johann Friedrich Blumenbach?**

Johann Friedrich Blumenbach war in der Nachfolge von Albrecht von Haller, dem ersten Präsidenten der Göttinger Akademie der Wissenschaften, gegründet 1751, Professor der Medizin und Naturgeschichte an der Universität Göttingen. Blumenbach war einer der exponiertesten Protagonisten und allseits interessierter deutscher Naturwissenschaftler seiner Zeit – und dies auch im europäischen Kontext. Das umfangreiche Curriculum Vitae von J.-F. Blumenbach ist allerdings nicht besonders geläufig, man kennt seine Schriften, aber seine umfangreichen Sammlungen, auf denen ein Großteil seiner Erkenntnisse beruht, sind weitgehend unbekannt. Ein maßgeblicher Teil des Blumenbach-Projektes („Johann Friedrich Blumenbach-online“) der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen beschäftigt sich deshalb mit der Erfassung und Digitalisierung der Sammlungsobjekte aus den verschiedenen Sammlungen von Blumenbach.

Blumenbach wurde am 11.05.1752 in Gotha geboren, besuchte von 1759–1769 das Gymnasium illustre in Gotha und studierte dann bis 1772 in Jena Medizin. Ab diesem Jahr setzte er seine Studien in Göttingen fort und traf dort mit Christian Wilhelm Büttner (dem „vielwissenden Sonderling“) zusammen, der in Göttingen eine Art Vorlesung „Collegium der Naturgeschichte“ las. Blumenbach fiel mit seinem naturwissenschaftlichen Interesse auf und Büttner schlug Christian Gottlob Heyne vor, Blumenbach als „Gehülfe zum Ordnen“ des gerade erworbenen Naturalien-Cabinets von Büttner zu verpflichten. Blumenbach promovierte im September 1775 über „De generis humani varietate nativa“, das zu einem Meilenstein im Verständnis verschiedener Menschentypen wurde. Die erste Anerkennung als Wissenschaftler erhielt er im Februar 1776, wo er zum außerordentlichen Professor der Medizin ernannt wurde, zugleich Prosector

---

\* Der Vortrag wurde am 14.10.2016 vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

der Anatomie und Unteraufseher des „Königlich Academischen Museums“. Im Oktober 1778 hat er die Arbeiten an dem Katalog der Sammlungsobjekte des „Musei Academici“ abgeschlossen und wurde kurz danach im November zum ordentlichen Professor der Medizin berufen. Diese Berufung erlaubte es ihm auch, sich familiär zu binden, er heiratete 1779 Louise Amalie Brandes. Aus der Ehe gingen vier Kinder hervor, zwei Söhne und zwei Töchter. Ab 1779 werden eine Reihe von grundlegenden Arbeiten naturhistorischer und medizinisch-anatomischer und anthropologischer Lehrbücher und Monographien aufgelegt und publiziert. Hier einige Beispiele seines umfangreichen Werkes: 1779–1830 Handbuch der Naturgeschichte (in 12 rechtmäßigen Aufl.; Übersetzungen in 6 Sprachen); 1780–1792 De nisu formativo – Über den Bildungstrieb (mehrere Ausgaben; Übersetzungen in 2 Sprachen); 1787–1821 Institutiones physiologicae (in 4 Aufl.; Übersetzungen in 5 Sprachen); 1790–1828 Decas collectionis suae craniorum diversarum gentium (7 Teile); 1790–1830 Beyträge zur Naturgeschichte (mehrere Teile; Übersetzungen in 3 Sprachen); 1796–1830 Abbildungen naturhistorischer Gegenstände (10 Hefte + mehrere Neuauflagen); 1805–1824 Handbuch der vergleichenden Anatomie (in 3 Aufl.; Übersetzung in das Englische).

Blumenbach wird 1784 Mitglied der Göttinger Akademie der Wissenschaften und 1814 wird er zum „ständigen Secretär“ der gesamten Göttinger Akademie gewählt. Zuvor wurde er 1812 „Oberaufseher des Königlich Academischen Museums“ und „ständiger Secretär der physikalisch-mathematischen Klasse der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen“. 1816 wurde er zum Ober-Medizinalrat ernannt. Sein goldenes Doktorjubiläum wurde 1825 ausgiebig gefeiert, es kam zur Stiftung eines Blumenbach-Stipendiums und zur Prägung einer Blumenbach-Medaille. Im Wintersemester 1836/37 liest er letztmalig nach 118 Semestern sein „Collegium über Naturgeschichte“. Eine besondere Ehre wurde ihm 1837 zuteil – er wurde Ritter der französischen Ehrenlegion. Am 22. Januar 1840 verstirbt Blumenbach und wird in Göttingen bestattet. Zu erwähnen ist, dass Blumenbach eine Reihe von Schülern hatte wie Alexander von Humboldt, Maximilian Prinz zu Wied-Neuwied, August Griesebach, Leopold von Buch u.v.a., die maßgeblich die Grundlagen der modernen Naturwissenschaften gelegt und durch ihre Forschungsreisen das Wissen der damaligen Welt erheblich erweitert haben.

## Naturhistorische Sammlungen

Blumenbach reiste nicht gerne und hat nur wenige Objekte selber gesammelt. Er war in Deutschland und Europa sehr gut vernetzt und wichtige Sammlungseingänge kamen über Schenkungen. Ein wichtiger Donator war der Göttinger Alumnus Georg Thomas von Asch (1729–1807) der bei Alfred von Haller pro-

vomiert hatte. Asch war u. a. Arzt, Militär und Politiker unter der russischen Zarin Katharina II und hatte durch seine Reisen durch das russische Reich, vor allem Sibirien (bis 1806), tausende von Objekten gesammelt. Es handelte sich, neben Büchern und Münzen, vor allem um Mineralien, Gesteine, Fossilien, Ethnographica und zoologische Präparate, die Blumenbach anvertraut wurden, darunter neue fossile Arten aus dem Pleistozän wie das Mammut, das von ihm 1799 als das Wollhaarmammut *Elephas primigenius* erstmals beschrieben wurde. Der Ankauf einer ethnographisch wichtigen Sammlung von den Südseereisen Cooks (1769 und 1780) erfolgte in einem Zeitraum von 1781/82, bereicherte das Akademische Museum in exzellenter Weise und wird heute in der ethnographischen Sammlung der Göttinger Universität ausgestellt. Der Sammlungsbestand ist überwiegend bestimmt durch ethnographische und weniger durch geo- und biologische Objekte. Bedingt durch seine guten europäischen Kontakte konnte Blumenbach von 1812 bis 1840 die Sammlungsbestände im Akademischen Museum erheblich erweitern. So finden sich in der Sammlung Schenkungen des Botanikers Joseph Banks (London), der auf der ersten Weltumsegelung von Cook an Bord war und weitere Weltreisen durchführte, von dem Oxfordener Paläontologen William Buckland, einem der ersten Dinosaurier-Forscher, der einen Mittelhandknochen eines Wollhaarigen Nashorns Blumenbach überlies. Ebenso überließ der Schweizer Jean-André Deluc, erster Professor für Geologie in Göttingen (der allerdings nie in Göttingen war), dem Akademischen Museum Fossilien der Kreidezeit wie Rudisten (eine spezielle Muschel-Gruppe). Es führt zu weit, alle Donatoren zu nennen, allerdings finden sich Objekte in der Sammlung, die von herausragenden Persönlichkeiten der damaligen Zeit gestiftet wurden wie von Johann Wolfgang von Goethe (Weimar), Alexander von Humboldt (Berlin), Martin Heinrich von Klaproth, dem Entdecker des Urans (Berlin), Ludwig der I König von Bayern, um nur einige zu nennen. Nicht alle Objekte waren im Akademischen Museum verwahrt, Blumenbach hatte auch eine eigene Sammlung, die nach seinem Tod im Januar 1840 im August (07.08.1840) an die Universität Göttingen für 5000 Thaler Courant (ca. 200.000 Euro) verkauft und dem Akademischen Museum eingegliedert wurde. Der Kaufpreis basierte auf den Gutachten des Mineralogen Johann Friedrich Ludwig Hausmann und des Zoologen Arnold Adolf Berthold.

Eine der Aufgaben des Blumenbach-Projektes ist herauszufinden, wo sich die Sammlungsobjekte derzeit befinden. Es gibt nur unvollständige Kataloge und in einer ersten Abschätzung der Anzahl der Objekte bei Beantragung des Projektes wurde die Anzahl viel zu niedrig eingeschätzt. Nach der heutigen Kenntnislage gibt es mehr als 6500 Objekte der Blumenbach naturhistorischen Sammlungen. Die meisten davon, ca. 3100 Objekte, sind der Mineralogie und Geologie zuzuordnen, die überwiegend im Geowissenschaftlichen Museum der Universität Göttingen aufbewahrt werden sowie auch rund 800 paläontologische und zoologische Objekte und ca. 170 Objekte der Gemmologie und Meteoritenkunde.

Der zweite wichtige Sammlungskomplex beinhaltet rund 2000 Objekte der Ethnologie und Archäologie, die überwiegend in der ethnologischen und archäologischen Sammlung der Universität Göttingen und im Städtischen Museum Göttingen untergebracht sind. Ein kleinerer Teil der Sammlung mit botanischen und pharmakologischen Objekten ist im Herbarium der Universität Göttingen lokalisiert. Die wichtige Blumenbachsche Schädelammlung mit ca. 230 Exemplaren ist im Anatomischen Institut der Universität Göttingen untergebracht. Die Schädelammlung ist von besonderer Bedeutung, da sie zum einem die älteste in Deutschland ist und zum anderen als Grundlage für Blumenbachs wegweisende Studie über „Einteilung des Menschengeschlechtes in fünf morphologische Varietäten“ diente. Weitere Augenmerke sind verschiedene paläozoologische Objekte wie das schon erwähnte Wollhaar-Mammut, von dem sich neben dem Backenzahn, gestiftet von Baron von Asch, Weichgewebe-Reste in der Sammlung befinden. Es handelt sich um das sogenannte „Adams-Mammut“, gestiftet von W.G. Tilesius von Tilenau, gefunden von M.F. Adams in Sibirien auf einer Expedition von 1805–1806, von dem Haar- und Hautreste vorhanden sind. Ebenfalls von großer wissenschafts-historischer Bedeutung sind fossile Reste des Wollhaar-Nashorns aus Westsibirien, gestiftet von Baron G. T. v. Asch, von Blumenbach erstmals 1799 als *Rhinoceros antiquitatis* beschrieben, später in *Coelodonta antiquitatis* umbenannt. Interessant in diesem Zusammenhang ist die Überlassung eines Mittelhandknochens des Wollhaar-Nashorns durch den britischen Paläontologen William Buckland. Zu erwähnen ist noch der Meteorit (ein L6 Chondrit) von Mauerkirchen in Oberösterreich, gefallen 1768, der von Kronprinz Ludwig, dem späteren König Ludwig I von Bayern gestiftet wurde und die Präparate des sog. „Hemdenbaumes Cinchona“ von A. v. Humboldt, gesammelt auf der Amerikanischen Forschungsreise von 1799–1804, der die wichtige Substanz Chinin beinhaltet, ein wichtiger Stoff gegen Malaria-Infektionen.

Dieser kleine Exkurs soll genügen, um die wissenschaftshistorische Besonderheit der Blumenbach-Sammlungen herauszustellen und die damit verbundene umfassende Digitalisierung im Rahmen des Blumenbach-online Projektes.

Die Sammlungsobjekte werden mit 3D-Scannern und Kameras (Photostudio PackshotCreator 3D der Fa. Sysnext zur Erzeugung von 3D-Animationen, gekoppelt an einen herkömmlichen PC, Stereokamera Fujifilm FinePix REAL-3DW1) erfasst, ergänzt durch 2D-Erfassung der Beschriftungen und andere wichtige Informationen und in die Blumenbach-online Datenbanken eingefügt. Ziel dieser Arbeit ist die Erstellung eines umfassenden digitalen Archivs, das eine virtuelle Forschungsumgebung erzeugt, in der realitätsnah mit den Objekten von Johann Friedrich Blumenbach weltweit gearbeitet und geforscht werden kann.

## Danksagung

Dieser Text war Grundlage einer Präsentation, die am 14. Oktober 2016 anlässlich einer Plenarsitzung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft vom Autor gehalten wurde.

Wichtige Informationen und ein Teil der Abbildungen wurden dankenswerter Weise von PD Dr. Mike Reich (Bayerische Staatssammlung für Paläontologie und Geologie, München), Dr. Nadine Schäfer (Mitarbeiterin im Blumenbach-online Projekt) und Dr. Alexander Gehler (Geowissenschaftliches Museum und Sammlungen der Fakultät für Geowissenschaften und Geographie, Göttingen) zur Verfügung gestellt.

## Literatur

GEHLER, A. & M. REICH (2013): Important types and distinguished donators – palaeontological objects of the Blumenbach-collection in the Geoscience Museum of the Georg-August-University of Göttingen. In: REITNER, J. (Hrsg.); YANG, Q (Hrsg.); WANG, Y. (Hrsg.); REICH, M. (Hrsg.): Palaeobiology and Geobiology of Fossil Lagerstätten through Earth History, A Joint Conference of the “Paläontologische Gesellschaft” and the “Palaeontological Society of China”, Göttingen, Germany, September 23–27. Abstract Volume, S. 58–59.

LAUER, G. (2014): Johann Friedrich Blumenbach – online (Projektbericht für das Jahr 2013). In: Jahrbuch der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen. 2013. Boston & Berlin: De Gruyter, S. 235–237.

REICH, M., A. BÖHME & L.D. NUMBERGER-THUY (2012): „Preziosen jeglicher Couleur“ – Objektdigitalisierung der naturhistorischen Sammlungen von Johann Friedrich Blumenbach (1752–1840). – *Philippia* **15**(2): 53–168.

REICH, M. & A. GEHLER (2012): Der Ankauf der Privatsammlungen von J. F. Blumenbach (1752–1840) durch die Universität Göttingen. – *Philippia* **15**(3):169–187.

SCHULTZ, M. & M. REICH (2013): Blumenbachsches Schädelnsammlung. – BEISIEGEL, Ulrike (Hrsg.): Die Sammlungen, Museen und Gärten der Universität Göttingen. Göttingen: Universitätsverlag S. 50–51.

## Viren und Legionellen im Wasserkreislauf\*

KARL-HEINZ ROSENWINKEL & REGINA NOGUEIRA

Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik Hannover,  
Leibniz Universität Hannover, Welfenplatz 1, D-30167 Hannover  
E-Mail: rosenwinkel@isah.uni-hannover.de

### I. Einleitung

Der Eintrag von humanpathogenen Viren wie Noro-, Rota-, Hepatitis- und Adenoviren in den Wasserkreislauf erfolgt über defekte Abwasserleitungen und Kläranlagenabläufe. In Deutschland werden ca. 70% der Trinkwassergewinnung über das Grundwasser und Uferfiltration abgedeckt und der verbleibende Rest über Oberflächenwasser. Zwar besteht kein akuter Handlungsbedarf (Szewzyk et al., 2006), es kann jedoch zu Problemen bei der Aufbereitung von Trinkwasser aus Oberflächengewässern sowie bei der Nutzung als Badegewässer kommen.

Während Viren direkt mit dem Trinkwasser aufgenommen werden können, wird eine Infektion mit Legionellen durch die Aufnahme von belasteten Aerosolen hervorgerufen. Seit 2013 ist auch diese Gefährdung im Zusammenhang mit der Einleitung von gereinigten Abwässern in Gewässer und daraus entnommenen Kühlwässern mit Aerosolbildung deutlich geworden. In diesem Beitrag sollen Vorkommen und Möglichkeiten der Bekämpfung dieser Erreger aufgezeigt werden.

### II. Viren

Mit der Virenproblematik hat sich ein DFG – Gemeinschaftsprojekt “Pathogenic viruses in water – detection, transport and elimination” mit fünf unterschiedlichen Projektpartnern beschäftigt. Die Projektpartner waren im Einzelnen: das Helmholtz Zentrum München (HZM), Umweltbundesamt Berlin (UBA), Universität Bonn (UB), TU München (TUM) und die Leibniz Universität Hannover (LUH). Ziel eines Teilprojektes des ISAH war die Bilanzierung der Vireneliminations-

---

\* Der Vortrag wurde am 11.11.2016 vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

effizienz einer Kläranlage und Identifikation der wesentlich Einflussgrößen auf die Inaktivierung der Viren (z.B. Schlammalter, Schlammbelastung, Temperatur etc.). Die Untersuchungen wurden durch die Bestimmung der nichthumanpathogenen somatischen Coliphagen in einer Kläranlage durchgeführt. Zusätzliche Untersuchungen im Batchtest wurden durch den Einsatz von  $\phi$ X174, einem Modellorganismus für humanpathogene Enteroviren und typischen Vertreter der somatischen Coliphagen, durchgeführt. Die Eliminationsrate wurde durch die Auswertung der PFU (PlaqueFormingUnits) und der RT-PCR vor und nach der Abwasserreinigung quantifiziert. Auf Basis dieser Untersuchungen wurde dann ein Virus-Tool für das Activated Sludge Model No. 3 (ASM 3) erstellt.

### **Untersuchungen zur Virenelimination in einer kommunalen Kläranlage**

Das Ziel dieser Untersuchung war es, durch die Beobachtung des Indikators für humanpathogene Enteroviren – somatische Coliphagen –, die Reduktionsschritte in der Kläranlage zu identifizieren und zu quantifizieren. Dabei wurden im Ablauf der Vorklärung, der Belebung und der Nachklärung einer Kläranlage, sowie Zu- und Ablauf Faulbehälter (mesophil) Stichproben gezogen und die Konzentration somatischer Coliphagen mit Hilfe der Weichagarschichttechnik bestimmt. Dazu wurden die Proben mit einem Nährmedium, welches den Wirt des Indikators – *Escherichia coli* – enthält, vermischt. Dieser Suspension wurden dann warmen Weichagar zugesetzt und sofort auf eine Agarplatte gegeben. Nach einer Inkubation bei ca. 37°C wurden dann die im Bakterienrasen sichtbaren Plaques (siehe Abbildung 1) ausgezählt. Da man davon ausgeht, dass jeder Plaque durch einen Viruspartikel verursacht wird, kann man durch Hochrechnung auf die Konzentration der somatischen Coliphagen in der Probe schließen. Diese Untersuchungen wurden sowohl im Winter und als auch im Sommer durchgeführt um einen Einfluss der Temperatur auf die Eliminationsleistung ermitteln zu können.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- In der Vorklärung ist keine Elimination der somatische Coliphagen nachgewiesen worden und in der Nachklärung im Wesentlichen auch nicht, nur im Sommer konnte dort zeitweise eine erhöhte Effektivität nachgewiesen werden.
- Der wesentliche Mechanismus der Elimination von somatische Coliphagen ist aber die Adsorption an den Belebtschlamm. Etwa 98% der somatische Coliphagen binden an den Schlamm. Die ungebundenen Phagen in der Flüssigphase der Belebung wiederum sind in der Nachklärung nachweisbar.
- Im Faulbehälter konnten die somatische Coliphagen um ca. 2 log-Stufen reduziert werden.



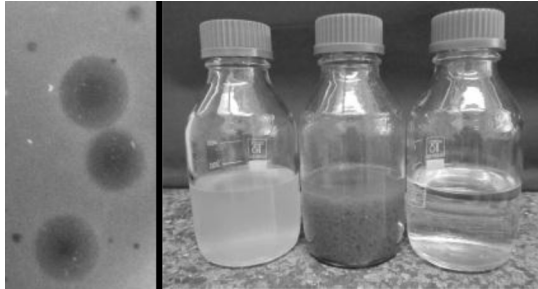


Abbildung 1: Plaques von somatischen Coliphagen (links), Proben aus der Vorklärung, Belebung und Nachklärung.

### Adsorption und Inaktivierung

Um die Adsorptionskinetiken zwischen Viruspartikel und Belebtschlammoberfläche bestimmen zu können, wurden Batchtests durchgeführt. Dabei wurden folgende Parameter bezüglich ihres Einflusses auf die Adsorption untersucht:

1. TS-Gehalt
2. Ausgangskonzentration des somatischen Coliphagen  $\phi$ X174
3. CSB

Für alle Untersuchungen wurde Schlamm aus der Belebung einer Kläranlage entnommen und in Reaktoren abgefüllt. Anschließend wurden die Reaktoren mit dem Modellindikator  $\phi$ X174, einem somatischen Coliphagen, gespikt, und ca. 2-8h regelmäßig beprobt. Für die Untersuchung des TS-Gehaltes (24.) wurde dieser durch Aufkonzentration oder Verdünnung variiert, während die zugegebene Konzentration an  $\phi$ X174 in allen Reaktoren am Anfang gleich war. Im Gegenzug dazu wurde in den Batchtest mit variablen Ausgangskonzentrationen des somatischen Coliphagen der TS-Gehalt konstant gehalten. Um eine Substratkonzurrenz durch CSB und damit einen Einfluss auf das Adsorptionsverhalten des somatischen Coliphagen  $\phi$ X174 ausschließen zu können, wurde bei dem CSB- Batchtest Glukose in sehr hohen Konzentrationen zugegeben. Die zugegebene Konzentration an  $\phi$ X174 entsprach dabei den Konzentrationen von den TS-Batchtests [24].

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen können wie folgt zusammengefasst werden:

1. TS-Gehalte zwischen 2–7 g/l haben keinen signifikanten Einfluss auf die Anzahl der adsorbierten somatischen Coliphagen.

2. Die Ausgangskonzentration von somatischen Coliphagen beeinflusst die Adsorptionsgeschwindigkeit.
3. Die Zugabe von CSB in Form von hochkonzentrierter Glukose keinen Effekt auf die Virenadsorption hat.

Um ein genaueres Bild von den Vorgängen im Belebtschlamm zu haben, wurden weitere Batchtests durchgeführt. Diese sollten klären, ob und in welchem Zeitraum eine Inaktivierung der somatischen Coliphagen im Belebtschlamm stattfindet. Dafür wurde der Schlamm in den Reaktoren im Gegensatz zu den ersten Versuchen, nicht mit  $\phi$ X174 gespikt, sondern die natürlichen Belastung des Schlammes mit somatischen Coliphagen nicht verändert. Diese Batchtests wurden in einem Zeitraum von ca. 60d untersucht, wobei in regelmäßigen Abständen künstliches Substrat zum Erhalt der Bakterien sowie bei Bedarf Natronlauge zum Einstellen des pH-Wertes zugegeben wurden. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen ergaben:

1. Die Inaktivierung ist ein sehr langsamer Prozess und die freien Viren werden am effektivsten inaktiviert, gebundene nur zu einem sehr geringen Teil.
2. Die Temperatur ist ein wichtiger Faktor bei der Inaktivierung von Viren. Bei 12°C ist die Inaktivierung deutlich weniger effektiv als bei Raumtemperatur.

### **Modellentwicklung**

Aus den gewonnen Erkenntnissen wurde die Virenelimination als Virus-Tool auf Grundlage von ASM3 implementiert. Die Fraktion der adsorbierten Viren und der freien Viren in der Wasserphase wurden als zwei zusätzliche Stoffgruppen definiert. Diesen beiden Fraktionen werden keine Stoffeigenschaften zugeordnet, sie besitzen keine Masse und werden als Partikelanzahl pro Volumeneinheit im Modell geführt. Zudem unterliegen die beiden Fraktionen keinem Abbau. Eins der Eliminierungsprozesse ist die Adsorption und anschließende Ausschleusung über den Schlammabzug. Hierfür wird zunächst der eigentliche Prozess der Adsorption von Viren an die Schlammflocke definiert. Die Adsorption wird als linearer Prozess über eine konstante Adsorptionsrate definiert.

Die Laboruntersuchungen zur Virenelimination haben gezeigt, dass es neben der Adsorption auch eine Verminderung der Gesamtzahl der Viren stattfindet. Dieser Prozess der Inaktivierung wirkt sich sowohl auf die freien Viren in der Wasserphase als auch auf die adsorbierten Viren, wobei Geschwindigkeit der Inaktivierung in der Wasserphase um Vielfaches höher ist, aus.

### III. Legionellen

Seit dem ersten nachgewiesenen Ausbruch der Legionärskrankheit im Jahre 1976 [1] sind Legionellen ein bekanntes Problem im Trinkwasserbereich. Der Haupterreger der Legionärskrankheit ist *Legionella pneumophila* Serogruppe 1 (*L. pneumophila* SG1, [2]), der durch die Inhalation von Aerosolen in den menschlichen Organismus gelangt. Unter Laborbedingungen sind Legionellen sehr anspruchsvoll und eher langsam wachsende Bakterien. Sie benötigen bestimmte Aminosäuren als Kohlenstoff- und Energiequelle, insbesondere Arginin, Cystein, Methionin, Serin, Threonin und Valin [3] und wachsen bevorzugt zwischen 25°C und 42°C (Optimum: 37°C; [4]). *L. pneumophila* kann sich auch intrazellulär in verschiedenen Amöbenarten und Wimperntierchen, wie beispielsweise in *Acanthamoeba castellanii* [5], *Acanthamoeba polyphaga* [6], *Hartmannella vermiformis* [7] und *Naegleria fowleri* [8] vermehren. Nach erfolgreicher Vermehrung in Amöben weist *L. pneumophila* sogar eine erhöhte Resistenz gegenüber Oxidationsmitteln auf [9].

Auf Grund dieser hohen Umweltresistenz kommt es immer wieder zu trinkwasserassoziierten Legionellenausbrüchen durch befallene technische Anlagen (z.B. Duschen, Klimaanlage, Kühltürme; [1, 10, 11]). Dies führte auch dazu, dass diverse Vorschriften und Merkblätter zur Vermeidung von Legionellen in diesen Anlagen entwickelt worden sind, z.B. das DVGW-Arbeitsblatt W 551 [12], und 2011 auch eine Ergänzung in der Trinkwasserverordnung [13] vorgenommen wurde. Im Gegensatz dazu sind aber bisher im Zusammenhang mit Abwasserreinigungsanlagen weltweit nur wenige Einzelfälle beschrieben und auch keine Vorschriften zur Vermeidung entwickelt worden. Die dokumentierten Ausbrüche sind in Industrieabwasserbehandlungsanlagen (Papier, Raffinerie und Lebensmittel; [14], [15], [16]) aufgetreten. Die Verbreitung der Legionellen erfolgte auch hier durch legionellenhaltige Aerosole, die zum Beispiel bei der Belüftung oder durch Leckagen oder durch die Nutzung von Rückkühlwerken entstehen. Insbesondere belüftete Belebungsbecken wiesen in diesen Fällen hohe Konzentrationen an Legionellen (bis zu 8,9 logKBE/100ml; KBE: Koloniebildende Einheiten) auf [14]. Die bisherigen Gegenmaßnahmen beinhalteten zumeist eine vollständige Außerbetriebnahme der betroffenen Anlagen oder einen Umbau zu anaeroben Vorbehandlungsstufen und eine hygienische Reinigung der Kühltürme. Wie es aber zu der Vermehrung der Legionellen kam oder wie man präventiv diese verhindern könnte, wurde bisher kaum hinterfragt.

Ein erneuter Legionellenausbruch im August 2013 in Warstein, bei dem es 160 Erkrankungs- und Verdachtsfälle und 2 Todesfälle gab, war die Veranlassung für weitergehende Untersuchungen [17].

Mit den hier beschriebenen Untersuchungen sollten Maßnahmen zur gezielten Reduzierung und/oder Unterdrückung einer Wiederansiedlung von Legionellen

im Belebtschlamm ermittelt werden. In den Versuchen wurden u.a. die Reduktion von Legionellen durch die Anpassung von Betriebsparametern (Temperatur, Schlammalter, Substrat) und die Inaktivierung bzw. Abtötung durch verschiedene chemische Desinfektionsverfahren (z.B. Mikrosilber, pH-Veränderung, ClO<sub>2</sub>) untersucht. Als innovativer, physikalischer Ansatz wurde eine Teilstrombehandlung mit Ultraschall versuchstechnisch erprobt. Auf diese Weise sollten die Amöben als mögliche Wirtszellen und damit die Freisetzung der Legionellen in die Wasserphase zur gezielten Elimination in einem nachfolgenden Schritt erreicht werden. In einer anderen Studie [5] wurden mit Hilfe des Ultraschalls bereits vielversprechende Ergebnisse in Wasserversorgungssystemen erzielt.

Darüber hinaus zeigten die Erfahrungen im Fall des Legionellenausbruches in Warstein, dass mit der bisherigen Kultivierungsmethode keine ausreichend sichere (in Bezug auf Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit) und schnelle Quantifizierung von Legionellen im Belebtschlamm möglich ist. Daher umfasste das Forschungsvorhaben außerdem eine Abstimmung der Analytik basierend auf der Standardmethode sowie die Erprobung und Weiterentwicklung alternativer Nachweisverfahren wie beispielsweise die qPCR (quantitative Polymerasekettenreaktion) und FISH (Fluoreszenz-in situ-Hybridisierung), die hier aber nicht weiter im Detail ausgeführt werden sollen.

### **Wachstumsverhalten von Legionellen im Abwasser**

In den kontinuierlichen Versuchen konnte festgestellt werden, dass Veränderungen von Temperatur und Substrat sich unterschiedlich auf *Legionella* spp. und *L. pneumophila* auswirken. Bei Temperaturen um 35°C und einer guten Substratversorgung (proteinhaltiges Substrat wie z.B. Hefekonzentrat, siehe Abbildung 2a). zeigte *L. pneumophila* einen deutlichen Wachstumsvorteil im Vergleich zu *Legionella* spp..

In einem anderen Versuch konnte eine sehr hohe Wachstumsrate nachgewiesen werden ( $\mu_{\max}$  ca. 3,85 d<sup>-1</sup>, Abbildung 2 b), aber nach wenigen Tagen konnte man dann einen Rückgang der Legionellenkonzentration registrieren. Welcher Mechanismus dafür verantwortlich ist und bei welcher Temperatur dieser Wachstumsvorteil beginnt, konnte in diesem Projekt nicht abschließend geklärt werden. Im Allgemeinen war bei Temperaturen unter 25°C die Wachstumsrate für *L. pneumophila* niedrig. Die Konzentration an *Legionella* spp. hingegen zeigte bei diesen Temperaturen und ausreichend Substrat sogar teilweise einen Anstieg auf. Dies ist ein Hinweis darauf, dass sich im Schlamm auch Legionellen bei Temperaturen unter 25°C entwickeln können. Inwiefern diese gesundheitsrelevant sind und welchen Einfluss sie auf das Wachstum von *L. pneumophila* haben, bleibt ebenso wie die Bestimmung der kinetischen Parameter für diese Gruppe noch abzuklären. Eine dieser Legionellenarten könnte die kaum beschriebene Art *Legionella londiniensis* (*L. londiniensis*) sein, die immer wie-

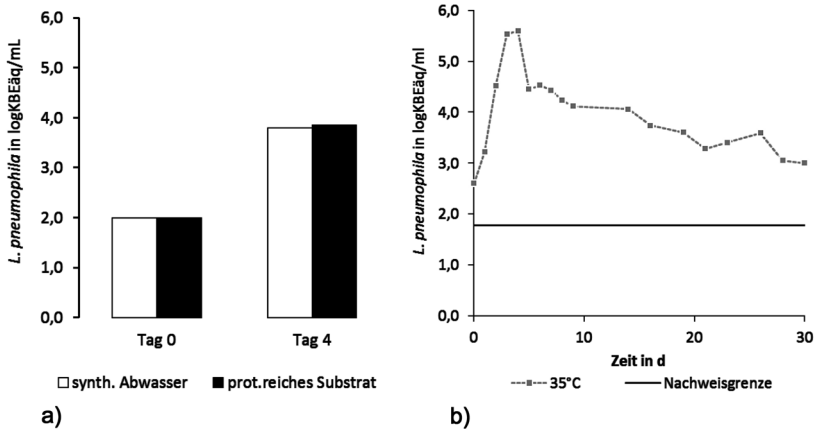


Abbildung: 2 a) Wachstumsverhalten von *L. pneumophila* bei 35°C in Belebtschlamm und mit verschiedenen Substraten: synthetisches Abwasser (mit Fleischextrakt) und proteinreiches Substrat (mit Hefezellen) b) Bestimmung der maximalen Wachstumsrate von *L. pneumophila* in Belebtschlamm bei einer Beschickung mit proteinreichem Substrat bei 35°C.

der im Belebtschlamm der KA Warstein nachgewiesen wurden. Wenn man die Faktoren identifizieren könnte, die *L. londiniensis* einen Wachstumsvorteil gegenüber *L. pneumophila* verschaffen würden, wäre eine Verdrängung des Humanpathogens durch diese vermutlich ungefährliche Legionellenart als weitere Gegenmaßnahme denkbar. Durch Nahrungskonkurrenz und Sekretion von Störsubstanzen können aber auch andere Bakterien im belebten Schlamm das Wachstum der Legionellen negativ beeinflussen [18].

Innerhalb des Projektes konnte mit Hilfe von lichtmikroskopischen Aufnahmen und FISH-Untersuchungen im Belebtschlamm neben den bekannten Legionellenwirten z.B. *Naegleria* sp., *Hartmannella* sp. auch andere Arten identifiziert werden (Ciliaten, siehe Abbildung 3 a) FISH: Infektion eines Ciliaten (grün, cf. *Euplotes* sp.) mit *Legionella* spp. (rot) (Bildquelle: Dr.-Ing. Corinna Lorey, ISAH, 2014) a) FISH: Infektion eines Ciliaten (grün, cf. *Euplotes* sp.) mit *Legionella* spp. (rot) (Bildquelle: Dr.-Ing. Corinna Lorey, ISAH, 2014) Bild 3 a). Außerdem konnten bei 35°C zum Teil auch Korrelationen zwischen dem Vorkommen von Nacktamoeben und *L. pneumophila* (Abbildung 3 b) nachgewiesen werden.

Somit scheint ein breites Wirtsspektrum eine weitere Überlebensstrategie der Legionellen im Belebtschlamm zu sein.

Als weitere Möglichkeit zur Detektion wachstumsfördernder Substrate wurde ein Aminosäurescreening durchgeführt. Die Ergebnisse sind in untenstehender

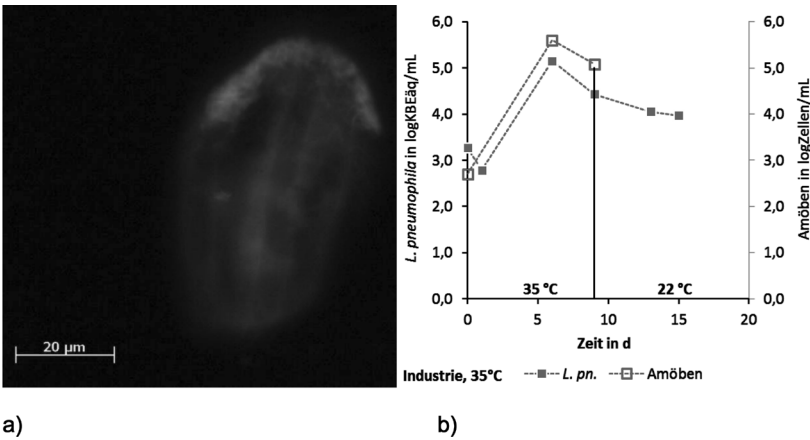


Abbildung 3: a) FISH: Infektion eines Ciliaten (unten, cf. Euplotes sp.) mit Legionella spp. (oben) (Bildquelle: Dr.-Ing. Corinna Lorey, ISAH, 2014) b) Korrelation im Wachstumsverhalten von *L. pneumophila* und Amöben bei 35°C (nach 9 Tagen wurde die Temperatur auf 22°C umgestellt).

Screening Top 5 [mg/L N]	Glu	Thr	Ala	Val	Phe	Ile	Leu	Lys	ΣTop5	Leg. spp. [KBE <sub>50</sub> /ml]
a. Industrie	3,4		4,5	2,9			2,6	3,8	17,2	<400
b. Industrie mit UV	3,9		5,3	3,1			2,8	3,8	18,8	<400
c. Ablauf Kanal	1,6		1,2		0,5		0,7	2,5	6,4	<400
d. Belebtschlamm			8,3	4,2		3,1	5,1	2,7	23,4	1,08·10 <sup>5</sup>
Kontrolle_Belebtschlamm	1,3	0,9	1,3	0,9				2,0	6,5	1,92·10 <sup>3</sup>

Erläuterung:  
Glu = Glutaminsäure  
Thr = Threonin

Ala = Alanin  
Val = Valin

Phe = Phenylalanin  
Ile = Isoleucin

Leu = Leucin  
Lys = Lysin

Tabelle 1: Aminosäuren-Screening zur Identifikation von wachstumsfördernden Substraten.

Screening Top 5 [mg/L N]	KN <sub>oTS</sub> [mg/L]	CSB <sub>TS</sub> [mg/L]	oTS o. AFS [g/L]	KN/oTS [g/g]	CSB/oTS [g/g]	Leg. spp. [KBE <sub>20</sub> /ml]
a. Industrie	69	1796	0,51	0,14	3,52	<400
b. Industrie mit UV	65	1853	0,47	0,14	3,94	<400
c. Ablauf Kanal	2	26	0,02	0,14	1,63	<400
d. Belebtschlamm	213	3733,3	2,91	0,07	1,28	1,08·10 <sup>5</sup>

Literatur Belebtschlamm:

- 60-80% org. Anteil (Kohlenhydrate, Fette und Proteine) (Mudrack & Kunst, 1994)
- 7-9% Fette (Koppe & Stozek, 1999)
- Proteine 900-1300 mg/L → 0,9 – 1,3 g/L (Koppe & Stozek, 1999)

Tabelle 2: CSB und KN von org. Stoffen zur Identifikation von wachstumsfördernden Substraten.

Tabelle 1 zusammengefasst, wobei nur die offensichtlich relevanten Top 5 aufgeführt sind.

Darüber hinaus wurden die Verhältnisse vom CSB zu den organischen Stoffen sowie vom Kjeldahl Stickstoff zu den organischen Stoffen als möglicher Indikator für geeignete Substrate untersucht. Aus den wenigen – noch nicht statistisch abgesicherten Werten – geht hervor, dass geeignete Substrate offensichtlich ein KN/oTS von deutlich > 0,1 und ein CSB/oTS von deutlich > 2 haben (s. Tabelle 2)

### **Biologische, chemische und physikalische Eliminationsverfahren – Praxis- und Laborerfahrungen**

Auf der Kläranlage Warstein wurden vom Ruhrverband Anfang September 2013 folgende Sofortmaßnahmen erfolgreich umgesetzt:

- Außerbetriebnahme des Tropfkörpers
- Außerbetriebnahme der Kreiselbelüfter in der Nitrifikation
- Installation einer Reinsauerstoffversorgung in der Nitrifikation (i.w. zur Verringerung der Gaseintragsmengen im Belebungsbecken und damit der Aerosolbildung sowie zur Sicherstellung der Sauerstoffversorgung)
- Abdeckung der Nitrifikation (Aerosolunterbindung)
- Installation einer mobilen UV-Anlage zur Desinfektion des Ablaufs der Kläranlage

Hiermit wurden sämtliche denkbaren Expositionspfade (Luft, Wasser) vorsorglich unterbrochen.



Es folgte Anfang Oktober 2013 die Installation einer zusätzlichen chemischen Desinfektion mit Hilfe von Perameisensäure. Mit Hilfe der genannten Kombination von Desinfektionsverfahren konnte ab dem 04.10.2013 die Legionellenkonzentration im Ablauf der Kläranlage gegenüber der Legionellenkonzentration im Zulauf stark reduziert werden.

Im Laboransatz wurde als biologisches Verfahren zur Elimination von Legionellen die Absenkung des Schlammalters unter die Verdopplungszeit der Legionellen untersucht. Da Legionellen im warmen Abwasser sehr hohe Wachstumsraten aufweisen, würde diese Maßnahme eine ordnungsgemäße Abwasserreinigung mit Nitrifikation ausschließen. Aus diesem Grund wird diese Maßnahme als praxisuntauglich eingestuft.

Der Einsatz von chemischen Desinfektionsverfahren im Belebtschlamm mit Mikrosilber, Ozon, Wasserstoffperoxid, Chlordioxid oder Alkalisierung im Labormaßstab stellte sich ebenfalls als ungeeignet heraus. Die Wirkung der Chemikalien war zu unspezifisch für Legionellen und wirkte sich negativ auf die gesamte Belebtschlammbiozönose (insbesondere auf die Nitrifikanten) aus. Im Ablauf der Kläranlage hingegen war der Einsatz von Perameisensäure in Kombination mit UV-Licht auf der KA Warstein erfolgreich.

Da *L. pneumophila* bei Temperaturen über 22°C Wachstumsvorteile hat, könnte eine Abkühlung der Temperatur im Zulauf der Kläranlage erfolgversprechend nur auf die Vermehrung von Legionellen in der Anlage selbst sein. In der Praxis der kommunalen Abwasserbehandlung wird dies aus energetischen Gründen – wenn nicht mit Wärmerückgewinnung gearbeitet werden kann – kaum umsetzbar sein. Die Laborversuchsergebnisse zeigen allerdings auch, dass bei Temperaturen von 26°C eine Stagnation von *L. pneumophila* auftreten kann; insofern wäre die Ermittlung des exakten Schwellenwertes, bei dem ein verstärktes Wachstum von *L. pneumophila* auftritt, von erheblicher Bedeutung.

Als physikalisches Eliminationsverfahren wurde eine Teilstrombehandlung mit Ultraschall zur Abreicherung des Wirtes (Nacktamöben) untersucht. Wie in Abb. 5 dargestellt, werden die trophozoiten Nacktamöben (anders als die Legionellen) zwar durch den Ultraschall vollständig zerstört, können aber innerhalb kürzester Zeit den Schlamm wiederbesiedeln. Nach 6 Tagen ist kaum noch ein Unterschied zum unbehandelten Schlamm erkennbar. Auf die Legionellen hat die Behandlung bei der eingesetzten Energie überhaupt keinen Einfluss, so dass Ultraschall keine langfristige Strategie zur Abreicherung von Legionellen darstellt.

### **Elimination durch Substratveränderung und verfahrenstechnische Veränderungen**

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass proteinreiches Substrat neben der Temperatur einen erheblichen Einfluss auf die Entwicklung von *L. pneumophila*

hat. Ein weitgehender Rückhalt von proteinreichem Substrat bzw. der Vorabbau kann hier eventuell Abhilfe hinsichtlich des Legionellenaufkommens schaffen. Als Verfahrenskombination kann daher bei hoher Temperatur und Konzentration des Abwassers eine anaerobe Vorbehandlung hilfreich sein. In dieser Stufe werden die Proteine hydrolysiert, womit vermutlich eine Abreicherung der spezifischen Substrate für Legionellen erfolgt. In einer nachgeschalteten Schwachlaststufe zur Stickstoffelimination könnte dann für Legionellen kein Wachstumsvorteil mehr vorhanden sein und Nitrifikanten können in Abhängigkeit vom Schlammalter gehalten werden. Zur weiteren Aufklärung dieser Möglichkeiten besteht Forschungsbedarf.

Mögliche Indikatorparameter (z.B. CSB/oTS, KN/oTS, bestimmte Aminosäuren) sollten zur Erkennung von geeigneten Nährsubstraten und zur Früherkennung von möglichem verstärktem Legionellenwachstum ebenfalls untersucht werden.

Die bisherigen Erkenntnisse aus den Laborversuchen aber auch von der Kläranlage selbst machen deutlich, dass es keine einfachen Abreicherungsstrategien für Legionellen in Kläranlagen gibt, außer einer Einflussnahme auf die Substratzusammensetzung und die Temperatur.

Aus diesem Grund sollte u.a. der Temperatureinfluss zwischen 22°C und 30°C weiter untersucht werden. Die Schwerpunkte der Untersuchungen sollten sich auf die Identifikation der bevorzugten Randbedingungen zur Legionellenvermehrung konzentrieren. Die wichtigsten Einflussgrößen sind hierbei:

- die Aminosäurenverfügbarkeit,
- die vermehrungs- (>22°C) bzw. abreicherungsrelevanten (15°C–22°C) Temperaturbereiche für verschiedene Spezies,
- die Substratabhängigkeit (z.B. Proteine, Pilze, Hefen, Lignin) bzw. Substratveränderung (anaerobe Vorbehandlung) und
- die Identifikation von möglichen Indikatorparametern (z.B. Verhältnis von CSB/oTS und N/oTS, spezielle Aminosäuren).

Aus wissenschaftlicher Sicht ist ebenfalls der Einfluss von extrazellulären inhibitorisch wirksamen Substanzen anderer Bakterien (z.B. *Aeromonas hydrophila*) auf das Wachstum von *L. pneumophila* und der substratabhängige Konkurrenzdruck unter den Bakterien wichtig, um die Abreicherungsmechanismen im belebten Schlamm und Störungen beim Nachweis besser nachvollziehen zu können. Darüber hinaus ist die Identifizierung und Charakterisierung des Verhaltens der wichtigsten Legionellenwirte im Belebtschlamm (Nacktamöben und/oder Ciliaten) noch nicht ausreichend untersucht worden. Insbesondere sind dabei die bevorzugten Lebensbedingungen zur Vermehrung von Bedeutung.

Hinsichtlich des Nachweismethoden wird empfohlen, bei Verdacht oder Nachweis von *Legionella* spp. und *L. pneumophila* in Kläranlagen zur weiterentwickelten Standardmethode (Kulturverfahren) zusätzlich mittels qPCR ein ganzheitlicheres Bild des Belebtschlammes zu erhalten, um gezielte weitere Maßnahmen ergreifen zu können. Durch die Erfahrungen, die mit dem Ausbruch in Warstein gesammelt werden konnten, haben sich einige Sofortmaßnahmen als empfehlenswert herausgestellt. Zu allererst sollte bei positivem *L. pneumophila*-Befund jeglicher Aerosolaustrag möglichst vermieden werden, beispielsweise durch das Abdecken von Belebungsbecken, den Einsatz von Reinsauerstoff zur Begasung sowie ggf. einer Abluftbehandlung. Wenn gesundheitsgefährdend hohe Konzentrationen im Gewässer zu erwarten ist, sollte der Ablaufes der Kläranlage mit Hilfe UV oder chemisch desinfiziert werden, vor allem dann, wenn unterhalb der Ablaufes eine Wasserentnahme für Rückkühlwerke erfolgt oder sonstige sensible Nutzungen bestehen. Dadurch wird die Gefahr einer Weiterverbreitung der Legionellen vermindert. Auf der Anlage selbst muss das Personal in Bereichen mit hohen Aerosolbelastungen sich mit einem geeigneten Mundschutz (z.B. Schutzklasse FFP3) vor einer Infektion schützen.

### Danksagung

Wir bedanken uns bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Förderung des „Virenprojektes“ und bei dem Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV NRW) für die Förderung des „Legionellenprojektes“.

### IV. Literatur

- [1] FRASER, D.W. et al. (1977): Legionnaires-‘disease. – New England Journal of Medicine. **297**(22): 1189–1197.
- [2] PERCIVAL, S.L. & D.W. WILLIAMS (2014): Chapter Eight – Legionella, in Microbiology of Waterborne Diseases (Second Edition). – Academic Press: London. p. 155–175.
- [3] GEORGE, J.R. et al. (1980) : Amino acid requirements of *Legionella pneumophila*. – J. Clin. Microbiol., **11**(3): 286–291.
- [4] FIELDS, B.S., R.F. BENSON & R.E. BESSER (2002): Legionella and Legionnaires-‘disease: 25 Years of Investigation. – Clinical Microbiology Reviews. **15**(3): 506–526.
- [5] DECLERCK, P. et al. (2010): , Evaluation of power ultrasound for disinfection of both *Legionella pneumophila* and its environmental host *Acanthamoeba castellanii*. – Water Research. **44**(3): 703–710.

- [6] GARCIA, M.T. et al. (2007): *Acanthamoeba polyphaga* resuscitates viable non-culturable *Legionella pneumophila* after disinfection. – *Environ Microbiol* **9**(5): 1267–1277.
- [7] KUIPER, M.W. et al. (2004): Intracellular proliferation of *Legionella pneumophila* in *Hartmannella vermiformis* in aquatic biofilms grown on plasticized polyvinyl chloride. – *Appl Environ Microbiol.* **70**(11): 6826–6833.
- [8] NEWSOME, A.L. et al. (1985): Interactions between *Naegleria fowleri* and *Legionella pneumophila*. – *Infect Immun* **50**(2): 449–452.
- [9] BARKER, J., H. SCAIFE & M.R. BROWN (1995): Intraphagocytic growth induces an antibiotic-resistant phenotype of *Legionella pneumophila*. – *Antimicrob Agents Chemother* **39**(12): 2684–2688.
- [10] ULLERYD, P., et al. (2012): Legionnaires' disease from a cooling tower in a community outbreak in Lidköping, Sweden- epidemiological, environmental and microbiological investigation supported by meteorological modelling. – *BMC Infect Dis.* **12**: 313.
- [11] BEAUTE, J., P. ZUCS & B. DE JONG (2009–2010): Legionnaires disease in Europe. – *Euro Surveill.* **18**(10): 20417.
- [12] DVGW, DVGW-Arbeitsblatt W 551 (2004): "Trinkwassererwärmungs- und Trinkwasserleitungsanlagen; Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums; Planung, Errichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasser-Installationen".
- [13] TrinkwV (2001): Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch - in der Fassung der Bekanntmachung vom 2. August 2013 (BGBl. I S. 2977).
- [14] KUSNETSOV, J. et al. (2010): Two Legionnaires' disease cases associated with industrial waste water treatment plants: a case report. – *BMC Infect Dis.* **10**: 343.
- [15] NGUYEN, T.M. et al. (2006): A community-wide outbreak of legionnaire's disease linked to industrial cooling towers - how far can contaminated aerosols spread? – *J Infect Dis.* **193**(1): 102–111.
- [16] GREGERSEN, P. et al. (1999): Pontiac fever at a sewage treatment plant in the food industry. – *Scand J Work Environ Health* **25**(3): 291–295.
- [17] EIKMANN, T., I. TESSERAUX & C. HERR (2013): Hilft der Legionellen-Ausbruch in Warstein endlich, die notwendigen (umwelthygienischen) Konsequenzen zu ziehen? – *Umweltmedizin - Hygiene - Arbeitsmedizin* **18**(6): 301–302.
- [18] TOZE, S. et al. (1994): The effect of *Aeromonas* strains on the growth of *Legionella*. – *Journal of Applied Bacteriology* **77**(2): 169–174.
- [19] ROSENWINKEL, K.-H. et al. (2014): Abschlußbericht Ruhrverband/MKULNV NRW "Entwicklung von Maßnahmen zur Reduzierung von Legionellen in belebtem Schlamm".
- [20] K.-H. ROSENWINKEL, R. NOGUEIRA & K. SCHNEIDER (2015): Legionellenbe-

lastung im Abwasser Vorkommen und Maßnahmen zur Reduzierung, Vortrag Essener Tagung Aachen 03/2015.

- [21] ROSENWINKEL, K.-H., R. NOGUEIRA & K. SCHNEIDER (2015): Legionellen im Abwasser Vorkommen und Maßnahmen zur Reduzierung, Vortrag IFWW Wasserwerk Haltern 05/2015.
- [22] KATHARINA SCHNEIDER, KAI-UWE UTECHT, REGINA NOGUEIRA & KARL-HEINZ ROSENWINKEL (2015): Legionellenbelastung im Abwasser - Vorkommen und Maßnahmen zur Reduzierung, Korrespondenz Abwasser 06/2015.
- [23] NOGUEIRA, R., M. EXNER, T. GRÜNEBAUM, W. VERSTRAETE & K.-H. ROSENWINKEL (2015): Strategies for the Reduction of Legionella in Biological Treatment Systems, Conference paper, IWA LWWTP's conference Prag 09/2015.
- [24] SZEWZYK R., J.M. LOPEZ-PILA & I. FEUERPFIL (2006): Entfernung von Viren bei der Trinkwasseraufbereitung – Möglichkeiten einer Risikoabschätzung. – Bundesgesundheitsblatt **49**:159–162.

# KLASSENSITZUNGEN

## Der Prioritätsstreit<sup>1</sup> zwischen Leibniz und Newton<sup>2\*</sup>

THOMAS SONAR

Institut Computational Mathematics der Technischen Universität Braunschweig  
Pockelsstr. 14, D-38106 Braunschweig, E-Mail: t.sonar@tu-braunschweig.de

Der Prioritätsstreit zwischen Leibniz und Newton um die Entdeckung der Differential- und Integralrechnung gehört zu den heftigsten und weitreichendsten Konflikten der Wissenschaftsgeschichte. Er entwickelte sich langsam und interessanterweise nicht aus einem persönlichen Konflikt der beiden Wissenschaftler, sondern aus einem Konflikt, den die Mitarbeiter dieser Männer heraufbeschworen. Wir berichten über die Entwicklung des Prioritätsstreits bis hin zu seinen Folgen für die englische Analysis in den Jahrhunderten nach Newton. Wir folgen dabei der Darstellung von Th. Sonar: Die Geschichte des Prioritätsstreits zwischen Leibniz und Newton, Springer Spektrum 2016, in der sich auch alle weitergehenden Literaturhinweise finden, auf deren detaillierte Wiedergabe wir hier verzichten.

### Der Höhepunkt

Am 5. Mai 1712 wird vor der Royal Society in London ein Dokument mit dem Titel *Commercium epistolicum D. Johannis Collins, et aliorum de analysis promota: jussu Societatis Regiae In lucem editum* (Briefwechsel des Herrn John Collins und anderer über den Fortschritt der Analysis, herausgegeben im Auftrag

---

\* Der Vortrag wurde am 12.02.2016 in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

<sup>1</sup> Der vorliegende Aufsatz ist textgleich mit meiner Ausarbeitung eines Akademievortrages für die Hamburger Akademie der Wissenschaften im Jahr 2016, die auch auf den Seiten der Hamburger Akademie veröffentlicht wird. Die Hamburger Akademie hat freundlicherweise einem erneuten Abdruck im Jahrbuch der BWG zugestimmt.

<sup>2</sup> Sehr detailliert habe ich den Prioritätsstreit in: Th. Sonar: Die Geschichte des Prioritätsstreits zwischen Leibniz und Newton. Springer Spektrum 2016, geschildert. Dort findet sich auch ein recht vollständiges Literaturverzeichnis.

der Royal Society), anschließend in großer Zahl gedruckt und in ganz Europa kostenlos verteilt. In diesem *Commercium epistolicum* wird die Geschichte der Erfindung der Differential- und Integralrechnung – kurz: Analysis – aus der Sicht der englischen Seite zusammengefasst<sup>3</sup>:

1. Herr Leibniz befand sich Anfang des Jahres 1673 in London und ging dann nach Paris, von wo aus er mit Herrn Collins über Herrn Oldenburg bis etwa September 1676 eine Korrespondenz unterhielt. Dann kehrte fuhr über London und Amsterdam nach Hannover. Und Herr Collins war sehr freigütig in seinen Mitteilungen von Resultaten der Herren Newton und Gregory an fähige Mathematiker.
2. Als Herr Leibniz zum ersten Mal in London war, behauptete er, eine neue Differentialmethode gefunden zu haben; allerdings zeigte ihm Dr. Pell, dass diese Methode von Mouton erfunden und längst publiziert wurde. Bis zu Leibnizens Brief vom 21. Juni 1677 hat man nichts mehr von Leibniz bezüglich einer Differentialmethode gehört, und das war ein Jahr, nachdem ihm ein Brief Newtons aus dem Jahr 1672 nach Paris geschickt wurde, und vier Jahre nachdem Herr Collins ihm in einem Brief die Methode der Fluxionen übermittelt hatte, und zwar so, dass jede intelligente Person sie verstehen musste.
3. Herr Newton hatte seine Methode der Fluxionen mehr als fünf Jahre bevor Leibniz seinen Brief schrieb und wir sind der Meinung, dass er diese Methode sogar vor 1669 hatte.
4. Die differentielle Methode ist ein und dieselbe wie die Methode der Fluxionen, nur dass Leibniz andere Bezeichnungen verwendet. Die richtige Frage ist also, wer diese Methode zuerst gefunden hat. Wir halten Herrn Newton für den ersten Erfinder und legen der Royal Society Dokumente vor, die diese Tatsache beweisen.

Das *Commercium epistolicum* stellte letztlich ganz klar, dass man Leibniz in England als Plagiator sah und dass Newton der eigentliche, erste Erfinder der Methode war, von dem Leibniz offenbar abgeschrieben hatte. Was war geschehen?

## Die Entwicklung der Infinitesimalmathematik

Bereits in der Antike gelangen Archimedes (um 287–212 v.Chr.) Flächen- und Volumenberechnungen durch den Einsatzes von Indivisiblen. Archimedes stell-

<sup>3</sup> Ich übersetze hier nicht, sondern fasse die Argumente lediglich zusammen. Das *Commercium epistolicum* ist im Internet frei verfügbar, siehe [https://books.google.de/books?id=JoM\\_AAAAcAAJ&pg=PA42&dq=epistolae+leibnitii&hl=de&ei=yiysTeH3GYvasgbE2NSMCA&sa=X&oi=book\\_result&ct=result#v=onepage&q&f=false](https://books.google.de/books?id=JoM_AAAAcAAJ&pg=PA42&dq=epistolae+leibnitii&hl=de&ei=yiysTeH3GYvasgbE2NSMCA&sa=X&oi=book_result&ct=result#v=onepage&q&f=false), S. (120) – (122).



te sich vor, Linien seien aus Punkten der Dicke Null aufgebaut, Flächen aus Linien der Breite Null und Volumina aus Flächen der Dicke Null. Diese Indivisiblen (Unteilbare) setzte er auf einen Hebel und wog sie gegen Indivisible von Vergleichsflächen und -körpern, deren Flächeninhalt bzw. Volumen er kannte<sup>4</sup>. Die Vorstellung, Flächen könnten aus Linien der Dicke Null und Volumina aus Flächen der Dicke Null aufgebaut sein erschien ihm selbst allerdings so absurd, dass er es nicht wagte, solche Berechnungen öffentlich zu machen. Auch das „Wiegen“ von Linien bzw. Flächen der Dicke Null erschien ihm sicherlich sehr gewagt. Daher erdachte er zu jeder seiner Berechnungen einen rein geometrischen Beweis, und verschwieg so seine wahre Vorgehensweise.

Diese Indivisiblen-Techniken tauchten im lateinischen Mittelalter vereinzelt wieder auf, aber erst die Mathematiker der Renaissance brachten es zu neuer Meisterschaft im Umgang mit Indivisiblen. Zu nennen sind hier insbesondere Johannes Kepler (1571–1630), Galileo Galilei (1564–1642), Bonaventura Cavalieri (1608–1647), Evangelista Torricelli (1608–1647) und Grégoire de Saint-Vincent (1584–1667). Früh traten auch Kritiker auf den Plan, denn Rechnungen mit Indivisiblen konnten leicht auf paradoxe Resultate führen. Besondere Bedeutung für Newton und Leibniz kommt den Schriften von Isaac Barrow (1630–1677) und John Wallis (1616–1703) zu, in denen ein meisterhafter Umgang mit Indivisiblen und „unendlich kleinen Größen“ dokumentiert ist.

## Newton und Leibniz

Isaac Newton wurde am 4. Januar 1643 geboren; nach dem julianischen Kalender war er ein Weihnachtskind des Jahres 1642<sup>5</sup>. Seine Mutter Hannah war bei seiner Geburt Witwe, da sein Vater Isaac während der Schwangerschaft gestorben war. Sein Vater gehörte zu den freien Bauern, d.h. die Familie war nicht arm. Als Isaac drei Jahre alt war, heiratete seine Mutter erneut und ließ ihn bei der Großmutter zurück. Als ihr neuer Ehemann Barnabas Smith im Jahr 1653 stirbt kehrt die Mutter zurück, aber Isaac Newton hat durch den Fortgang der Mutter wohl eine unheilbare Kränkung erfahren. Als er später eine Liste seiner Sünden zusammenstellt schreibt er als Sünde No.13: „Meinen Vater und Mutter Smith bedroht, sie und das Haus über ihnen anzuzünden“. Da er für eine Übernahme des väterlichen Hofes ungeeignet erscheint, ermöglicht vermutlich sein Onkel den Besuch des Trinity College in Cambridge. Im Juni 1661 kommt er in Cambridge an und muss für seinen Lebensunterhalt sorgen, in dem er als Diener für reichere Studenten arbeitet. Er ist grüblerisch, erlebt 1662 eine tiefe religiöse

<sup>4</sup> Th. Sonar: 3000 Jahre Analysis, Springer Verlag 2011, S. 71ff.

<sup>5</sup> Alle Daten sind zur besseren Lesbarkeit auf den gregorianischen Kalender bezogen.

Krise und liest viel: Aristoteles, Galilei, Boyle, Descartes. Etwa 1664 beginnt er ein Notizbuch mit dem Titel *Quaestiones quaedam philosophicae* (Einige Fragen der Philosophie), in dem er seine Ideen zur Naturphilosophie (d.i. Mathematik und Mechanik) niederlegt. Im Jahr 1665 erlebte Cambridge den letzten Ausbruch der Pest und die Universität wurde geschlossen. Newton ging zurück zu seiner Mutter nach Woolsthorpe und die beiden Jahre 1665 und 66 werden zu „anni mirabiles“. In dieser Zeit entdeckt Newton nicht nur das Binomialtheorem, die Reihe für die Fläche unter der Hyperbel, Methoden zur Berechnung von Tangenten an Kurven („Fluxionenrechnung“) und zur Flächenberechnung unter Kurven („Fluentenrechnung“) und den Hauptsatz der Differential- und Integralrechnung, sondern auch die Theorie der Gravitation und des Lichts und der Farben. Uns interessiert hier natürlich besonders die Newton'sche Fluxionenrechnung, die eine Form der späteren Differentialrechnung von Leibniz darstellt. Anfang 1667 ist Newton wieder in Cambridge und wird 1669 der neue Lucasische Professor für Mathematik als Nachfolger von Isaac Barrow. Noch hat Newton keines seiner mathematischen Manuskripte publiziert.

Gottfried Wilhelm Leibniz wird am 1. Juli 1646 als Sohn eines Rechtsgelehrten in Leipzig geboren. Schon 1652 stirbt der Vater. Nach einer Schulausbildung an der Leipziger Nikolaischule besucht Leibniz ab 1661 die Leipziger Universität und studiert Rechtswissenschaften, hört aber auch Philosophie- und Mathematikvorlesungen. An der Universität Altdorf promoviert er zum Doktor beider Rechte und geht danach an den Hof des Mainzer Erzbischofs Johann Philipp von Schönborn. Im Jahr 1672 reist er in politischer Mission nach Paris, wo er gleich zu Anfang die Arbeiten an seiner Rechenmaschine vollendet und ein Exemplar bauen läßt. Noch im Herbst 1672 kommt Leibniz mit dem Gelehrten Christiaan Huygens (1629–1695) in Kontakt, der ihm ein Problem der Summierung von Reihen vorlegt, das Leibniz bravourös mit Hilfe der Differenzenrechnung löst. Zu Beginn des Jahres 1673 reist Leibniz in diplomatischer Mission nach London. Dort präsentiert er der Royal Society, mit der er seit 1670 korrespondiert, seine Rechenmaschine, die allerdings Fehlfunktionen aufweist. Bei einem Empfang im Haus von Robert Boyle berichtet Leibniz stolz über seine Differenzenrechnung, wird aber vom Mathematiker John Pell (1611–1685) belehrt, dass seine Resultate längst von einem französischen Autor publiziert worden sind und keinesfalls von ihm stammen. Hier liegt eine Wurzel des späteren Prioritätsstreits, denn Leibniz erscheint als Plagiator. Zur nächsten Sitzung der Royal Society wird Leibniz nicht mehr eingeladen, aber die Rechenmaschine reicht doch aus, um ihn am 19. April 1673 zum auswärtigen Mitglied der Royal Society zu machen.

## Die Entwicklung der Infinitesimalrechnung

Newton war Anfang 1665 im Besitz des Binomialtheorems. Er schafft 1666 die Grundlagen seiner Fluxionen- und Fluentenberechnung; ist also in der Lage,

Tangenten und Flächeninhalte krummliniger Figuren zu berechnen. Im Oktober 1666 schreibt Newton ein Manuskript über seine mathematischen Entdeckungen, das heute als „Oktobertraktat“ bekannt ist. Hätte er diesen Traktat veröffentlicht, wäre er unzweifelhaft als der größte Mathematiker seiner Zeit anerkannt worden, aber Newton publiziert nicht. Die Grundlage seiner Fluxionen-/Fluentenrechnung sind zu dieser Zeit Bewegungsargumente: Die Fluxion ist die Geschwindigkeit einer sich ändernden Größe; die Fluente ist diese Größe selbst.

Im Jahr 1668 veröffentlicht Nikolaus Mercator (ca. 1619– ca. 1620), der von 1658 bis 1682 in London lebte, seine Schrift *Logarithmotechnica*, in der er die Reihe für die Fläche unter der Hyperbel ableitet. Newton erhält die *Logarithmotechnica* von Isaac Barrow und muss nun erkennen, dass Mercator etwas veröffentlicht hat, was er, Newton, selbst bereits früher erkannt hatte. Newton reagiert darauf, indem er ein weiteres Manuskript verfasst, das man heute abkürzend als *De analysis* bezeichnet. Dieses Manuskript wird von Barrow nach London geschickt, und zwar an John Collins (1625–1683), der für die Royal Society arbeitete. Collins ist ein mittelmäßiger Mathematiker, aber er erkennt, dass er etwas ganz besonderes vorliegen hat. So macht er Abschriften von *De analysis* und kommuniziert mit anderen Mathematikern darüber. Natürlich will Collins die Arbeit veröffentlichen, aber Newton lehnt ab. *De analysis* wird erstmals im Jahr 1711 publiziert.

Nachdem Newton 1669 Nachfolger Barrows als Mathematikprofessor auf dem Lucasischen Stuhl wird, beginnt er erneut ein mathematisches Manuskript: *De methodis*. Newton läßt darin seine Bewegungsargumente fallen und schafft einen Grenzwertbegriff über „letzte Verhältnisse“ von Größen. *De methodis* wird erst 1736 veröffentlicht.

Newton, der ungern an die Öffentlichkeit tritt, schickt Collins einen Bericht über seine Erfindung des Spiegelteleskops und sendet das Teleskop sowie ein Manuskript zur Theorie der Farben an die Royal Society. Er wird das bereuen, denn seine Licht- und Farbtheorie wird vom Experimentator der Royal Society, Robert Hooke (1635-1703), scharf kritisiert. Die Auseinandersetzungen mit Hooke und Wissenschaftlern auf dem Kontinent über die Theorie des Lichts und der Farben setzen Newton über viele Jahre hinweg zu. Seine *Optics* wird erst 1704 nach dem Tod Hookes publiziert.

Nach der Rückkehr Leibnizens von seiner unglücklichen ersten London-Reise entwickelt sich ein reger Briefwechsel mit John Collins und Henry Oldenburg (um 1618–1677), dem Sekretär der Royal Society, der eng mit Collins zusammenarbeitete. Collins schreibt an Leibniz einen langen Brief über mathematische Resultate englischer Mathematik; allerdings ist von Newtons neuer Mathematik keine Rede. Christian Huygens unternimmt es nun, Leibniz in Mathematik zu unterrichten. Unter seiner Anleitung studiert Leibniz die Schriften von Descartes, Mersenne, Roberval und Pascal. In der Pascal'schen Abhandlung *Traité des*

*sinus du quart de cercle* (Abhandlungen über die Ordinaten im Viertelkreis) entdeckt Leibniz eine geometrische Konstruktion, in der ein tangential an den Viertelkreis anliegendes Dreieck KEE' bei der Berechnung der Oberfläche der durch Rotation entstehenden Kugel eine wichtige Rolle spielt.

Leibniz sieht nun sofort, dass die Verwendung eines solchen Dreiecks nicht an die Geometrie des Viertelkreises gebunden ist, sondern ganz allgemein verwendet werden kann. So entsteht das „charakteristische Dreieck“. In der rechten Abbildung ist das charakteristische Dreieck mit den Seiten  $dx$ ,  $dy$ ,  $ds$  geometrisch ähnlich zu dem Dreieck mit den Seiten  $y$ ,  $v$ ,  $n$ . Daraus ergeben sich die Verhältnisse

$$\frac{k}{y} = \frac{dy}{dx}; \quad \frac{y}{n} = \frac{dx}{ds},$$

wofür Leibniz später

$$\int k \, dx = \int y \, dy; \quad \int y \, ds = \int n \, dx$$

schreiben wird. Im Jahr 1673 gelingt Leibniz die arithmetische Kreisquadratur, die zu der berühmten  $\pi/4$  Reihe führt:

$$\frac{\pi}{4} = 1 - \frac{1}{3} + \frac{1}{5} - \frac{1}{7} + \frac{1}{9} - \frac{1}{11} \pm \dots$$

Leibniz beginnt jetzt ein großes Manuskript *De quadratura arithmetica*, das 1676 in Paris zurückbleibt und erst 1993 von Eberhard Knobloch erstmalig vollständig transkribiert wurde.

Am 30. März 1675 schreibt Leibniz an Oldenburg<sup>6</sup>:

*„Ihr schreibt, dass euer bedeutender Newton eine Methode für alle Quadraturen und die Maßzahlen aller Kurven, Oberflächen und Volumina von Drehkörpern, sowie zum Auffinden der Schwerpunkte gefunden hat; sicher durch ein Verfahren der Approximation, denn das habe ich daraus gefolgert. Solch' eine Methode, wenn sie denn universell und praktisch ist, verdient die höchste Wertschätzung, und ich habe keine Zweifel, dass sie sich ihrem brilliantesten Entdecker würdig erweisen wird. Ihr fügt hinzu, dass eine solche Entdeckung auch Gregory bekannt war. Aber da Gregory in seinem Buch 'Geometriae Pars Universalis' ein-*

<sup>6</sup> H.W. Turnbull et al. (eds): The Correspondence of Isaac Newton, Cambridge University Press, 1959–1977, Vol. I, S. 337f.

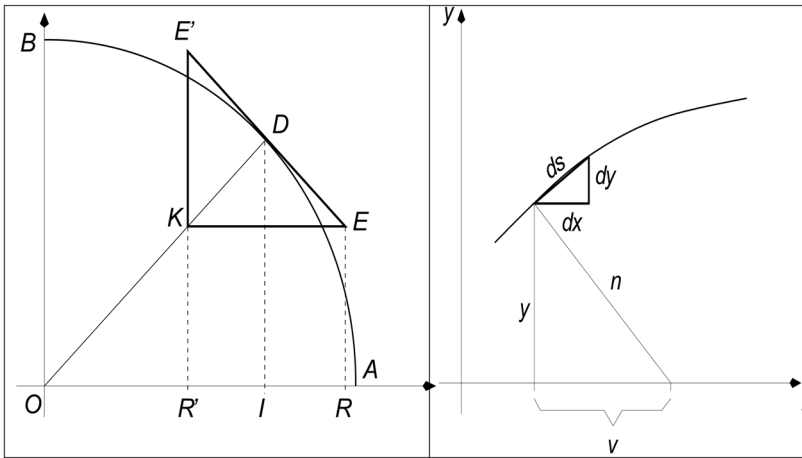


Abbildung 1: Die Rolle des charakteristischen Dreiecks bei Pascal (links) und die Verallgemeinerung von Leibniz.

*geräumt hat, er wüsste keine Methode, um hyperbolische und elliptische Kurven zu messen, bitte ich Euch mir zu sagen, ob er oder Newton sie bis heute gefunden haben, und falls das der Fall ist, ob sie sie absolut haben [d.h. in Form einer geschlossenen Formel], was ich kaum glauben kann, oder durch eine angenommene Quadratur des Kreises oder der Hyperbel.“*

Es ist diese Briefsequenz, die letztlich zu einem Briefkontakt zwischen Leibniz und Newton führen wird. Im Herbst 1675 wird die Leibniz'sche Differential- und Integralrechnung dann zum Kalkül: Leibniz führt das Integralsymbol  $\int$  ein.

Oldenburg antwortet auf Leibnizens Brief vom 30. März 1675 am 22. April. Oldenburg versteht nicht viel von Mathematik und hat sich daher von Collins beraten lassen. Der Brief enthält eine Reihe von James Gregory (1638–1675) für das Produkt von mit dem Radius  $r$  eines Kreises, allerdings konnte Leibniz nichts damit anfangen, da ein ganzer Term ausgelassen war. Der Brief enthält auch die Newton'sche Reihe für den Sinus und eine Reihe für die Fläche eines Kreises bzw. einer Hyperbel. Leibniz erfährt nun erstmalig etwas mehr über die Leistungen Newtons und Collins', allerdings nur Ergebnisse, keine Methoden.

## Die Epistolae

Leibniz schreibt am 12. Mai 1676 an Oldenburg und lobt die seltene Eleganz der Sinusreihe, für die er nun um einen Beweis bittet. James Gregory war verstorben,

Newton tief in Steitigkeiten um seine Theorie der Farben und in alchemistischen Experimenten vergraben. Einerseits begann nun Collins, einen Bericht über die Errungenschaften Gregorys zusammenzustellen, die *Historiola*. Sie wurde ihm wohl zu lang, also fertigte er eine kürzere Version, das *Abridgement*, an. Die Leibniz'sche Anfrage wurde nun direkt an Newton nach Cambridge geschickt, der sich nun hinsetzte und seine alten Manuskripte durcharbeitete. Das Ergebnis war ein Brief an Leibniz über Oldenburg, die *Epistola prior*<sup>7</sup>:

„Höchst werter Herr,

*Die Bescheidenheit von Herrn Leibniz bezeugt große Achtung vor unseren Landsmännern in Bezug auf eine gewisse Theorie der unendlichen Reihen, über die man nun zu besprechen beginnt, wie ich in den Auszügen aus seinem Brief, den Ihr mir letztlich zugesendet habt, erfahren habe. Doch habe ich keine Zweifel, dass er nicht nur eine Methode gefunden hat, um jede beliebige Größe in eine solche Reihe zu entwickeln, wie er behauptet, sondern auch verschiedene verkürzte Formen, vielleicht wie unsere, wenn nicht besser. Da er jedoch sehr gerne wissen möchte, was diesbezüglich von den Engländern entdeckt worden ist, und weil ich selbst vor ein paar Jahren auf diese Theorie kam, habe ich Ihnen einige dieser Dinge geschickt, auf die ich gekommen bin, um seine Wünsche zu erfüllen, wenigstens zum Teil.“*

Dann gibt Newton sein Binomialtheorem an und neun verschiedene Beispiele, an denen er die Berechnung der Koeffizienten erläutert. Zahlreiche weitere Beispiele werden angegeben, aber Informationen über seine Fluxionenrechnung gibt Newton nicht! Newton schreibt weiter<sup>8</sup>:

*„Wie die Flächen und Längen von Kurven, die Volumina und Oberflächen von Körpern oder von irgendwelchen Segmenten solcher Figuren, sowie ihre Schwerpunkte, durch die Reduktion von Gleichungen zu unendlichen Reihen berechnet werden können, und wie alle mechanischen Kurven ebenfalls auf solche Gleichungen von unendlichen Reihen reduziert werden können, womit alle Probleme so gelöst werden, als wären die Kurven geometrisch, all dies würde zu lang sein, um es zu beschreiben. Es sei genug, einige Beispiele solcher Probleme zu besprechen; ...“*

Der Leibniz-Forscher Hofmann hat aus der *Epistola prior* geschlossen, dass Leibniz unter allen Umständen von Newtons Ergebnissen ferngehalten werden sollte, aber diesen Schluss teile ich nicht! Warum hätte Newton einem ihm völlig Fremden eine detaillierte Erklärung seiner Mathematik schicken sollen? Zudem

<sup>7</sup> ebenda Vol. II, S. 32.

<sup>8</sup> ebenda Vol. II, S. 35.

hatte Leibniz nicht nach Resultaten der Infinitesimalmathematik gefragt, sondern nach unendlichen Reihen.

Die Epistola prior erreichte Oldenburg am 23. Juni 1676, wurde auf der Sitzung der Royal Society am 25. Juni gelesen und ging am 5. August an Leibniz ab, der sie am 24. August erhielt. Oldenburg wählte nicht den Weg über die gewöhnliche Post, sondern gab den Brief dem deutschen Mathematiker Samuel König mit, der von London nach Paris reiste. Leibniz war unterwegs und so deponierte König den Brief bei einem deutschen Apotheker in Paris, wo ihn Leibniz am 24. August erhielt. Leibniz antwortete mit einem flüchtig hingeworfenen Brief am 27. August und bemerkte, dass das Schreiben Oldenburgs einige Tage auf ihn warten musste. Offenbar gefiel Leibniz der erste Entwurf seiner Antwort nicht, denn er konzipierte noch einen zweiten. Unglücklicherweise war der schließlich am 27. August abgeschickte Brief in schlechter Handschrift verfasst, enthielt Fehler in Formeln, und Collins konnte in der für Newton angefertigten Transkription einiges nicht entziffern, so dass schließlich ein fehlerbehaftetes Dokument an Newton ging. Leibniz schreibt<sup>9</sup>:

*„Ihr Brief enthält zahlreichere und bemerkenswertere Ideen zur Analysis als viele dicke Bücher, die darüber veröffentlicht wurden. Aus diesem Grund danke ich Euch und den sehr herausragenden Männern Newton und Collins, die mich an so vielen exzellenten Gedanken teilhaben lassen wollen. Newtons Entdeckungen sind seines Genies würdig, was so reichlich durch seine optischen Experimente und durch sein katadioptrisches Rohr<sup>10</sup> bewiesen ist. Seine Methode zur Berechnung der Wurzeln von Gleichungen und der Flächen von Figuren mittels unendlicher Reihen ist doch völlig verschieden von meiner, so dass man sich nur über die verschiedenen Wege wundern kann, auf denen man zum selben Endergebnis kommt.“*

Leibniz schreibt weiter, dass seine eigenen Methoden auf einer allgemeinen Theorie der Transformationen beruhen. Hier spielt er auf seinen Transmutati-onssatz an, den er aber offenbar nicht preisgeben will. Auch in anderen Passagen ist Leibniz nicht sehr explizit. Hofmann schreibt<sup>11</sup>:

*„Unglücklicherweise hat Leibniz sich in diesem Absatz [es geht um Reihenentwicklungen bei der Hyperbel] in über-undeutlicher Weise ausgedrückt, da er das Geheimnis der Herleitung seines Weges von Schlußfolgerungen für sich behalten wollte.“*

<sup>9</sup> ebenda Vol. II, S. 65.

<sup>10</sup> D.i. das Newton'sche Spiegelteleskop.

<sup>11</sup> J. E. Hofmann: Leibniz in Paris 1672-1676. His Growth to Mathematical Maturity, Cambridge University Press, 1974, S. 236.



In der Epistola prior hatte Newton geschrieben<sup>12</sup>:

*„Von all diesem [vorher Beschriebenen] kann man sehen, wie sehr die Grenzen der Analysis durch solche unendlichen Gleichungen erweitert werden: in der Tat, durch ihre Hilfe reicht die Analysis, wie ich fast sagen möchte, an alle Probleme, die zahlenmäßigen Probleme des Diophant und dergleichen ausgenommen.“*

Dieser Meinung Newtons kann Leibniz sich nicht anschließen. In seinem Antwortschreiben heißt es<sup>13</sup>:

*„Was Ihr und Eure Freunde zu sagen scheinen, dass die meisten Schwierigkeiten (Diophantische Probleme ausgenommen) sich auf unendliche Reihen zurückführen lassen, will mir nicht einleuchten. Denn es gibt viele Probleme, in hohem Maße wunderbar und kompliziert, die weder von Gleichungen abhängen, noch aus Quadraturen resultieren, so wie zum Beispiel (unter anderen) Probleme der inversen Tangentenmethode, von denen selbst Descartes zugeben musste, sie lägen außerhalb seiner Kraft.“*

Für uns nicht interessant sind die „Diophantischen Probleme“, sondern die „inversen Tangentenmethoden“. Hierbei handelt es sich nämlich um Methoden zur Lösung von Differentialgleichungen: Aus gegebenen Eigenschaften der Tangente (d.h. der Ableitung einer Funktion) soll die Funktion selbst gefunden werden. Im weiteren Verlauf des Leibniz'schen Briefes wird dann auch klar, dass Leibniz bereits in das Gebiet der Differentialgleichungen eingedrungen war, denn er hatte ein Problem gelöst, dass in einem Brief von de Beaune an Descartes formuliert war: Finde die Funktion, deren Subtangente überall konstant ist. Leibniz schreibt<sup>14</sup>:

*„Ich selbst allerdings habe an dem Tag, in der Tat in der Stunde, als ich begann danach zu suchen, es sofort durch eine sichere Analysis gelöst.“*

Leibniz schrieb dazu in seinem Brief<sup>15</sup>: *“... quarum una est huius naturae ...“* (... [Kurven,] von denen eine diese Natur hat ...), aber unglücklicherweise transkribierte Collins „huius“ fälschlicherweise als „ludus“ (Spiel) und diese fehlerhafte Transkription wurde später im *Commercium epistolicum* von Newton zu einem Angriff auf Leibniz benutzt.

Leibniz zeigte die Epistola prior und seinen Antwortbrief auch seinem Freund Tschirnhaus, der daraufhin am 1. September 1676 einen eigenen Brief an Oldenburg schrieb, den er allerdings Leibniz nicht zeigte und der einige Fehler

<sup>12</sup> Turnbull et al. aaO, Vol. II, S.39.

<sup>13</sup> ebenda S. 71

<sup>14</sup> ebenda S. 71.

<sup>15</sup> ebenda S. 64.

enthielt, die Leibniz nicht hätte durchgehen lassen. Auch diesen Brief transkribierte Collins fehlerhaft und auch dieser Brief (in der fehlerhaften Transkription) wurde später im *Commercium epistolicum* zum Angriff auf Leibniz benutzt<sup>16</sup>.

Nach dem Tod seines Mainzer Dienstherrn hat Leibniz kein anderes Angebot als das des Hannoveraners, Herzog Johann Friedrich von Braunschweig-Lüneburg und Fürst von Calenberg. So sah er sich genötigt, dieses Angebot anzunehmen und zu Beginn des Jahres 1676 – noch in Paris – in die Dienste des Hannoveraners zu treten. Aber so schnell gedenkt Leibniz nicht, in die kleine Provinzstadt Hannover zu ziehen und er begibt sich auf eine ausholende Reise. Am Sonntag, 4. Oktober 1676, verläßt Leibniz Paris und begibt sich auf eine zweite Reise nach London wo er ca. eine Woche verbringt. Er besucht seinen Landsmann Oldenburg und trifft erstmals persönlich auf John Collins, der sich danach außerordentlich positiv über Leibniz äußert<sup>17</sup>:

*„Der vortreffliche Herr Leibniz, ein Deutscher, aber ein Mitglied der Royal Society, kaum im mittleren Alter, war letzte Woche hier, auf seinem Rückweg von Paris nach dem Hof des Herzogs von Hannover, durch den er gedrängt wurde wegzukommen und seine Einkünfte, die ihm in Paris angeboten wurden, abzulehnen. Aber während seines Aufenthalts hier, der nur eine Woche dauerte, war ich in solchem Zustand, dass ich nur wenig mit ihm tagen konnte; denn ich war belastet mit einer skorbutischen Verfassung oder Salzheit des Blutes, und die Einnahme von Heilmitteln machte mich geschwürrig und unruhig: Trotzdem nehme ich an, dass ich durch seine Briefe und anderen Informationsaustausch gemerkt habe, dass er unsere Mathematik überragt 'quantum inter Lenta'<sup>18</sup> etc. seine kombinatorischen Tafeln sind vordergründig bestechend und nicht numerisch ...“*

Collins gewährt Leibniz Einsicht in das alte Newton'sche Manuskript *De analysis* und in seine Zusammenfassung der Ergebnisse des verstorbenen Gregory, die *Historiola*. In dem späteren *Commercium epistolicum* wird behauptet werden, Leibniz hätte hier die Grundlagen der Newton'schen Fluxionenrechnung kennengelernt und sie später als die eigenen ausgegeben. Das ist nachweislich Unfug! Wir kennen nämlich die Exzerpte, die Leibniz aus beiden Dokumenten angefertigt hat. Aus *De analysis* hat er lediglich Resultate zur Reihenlehre exzerpiert; die Newton'sche Fluxionenrechnung musste für Leibniz zu diesem Zeitpunkt schon ganz uninteressant sein, denn er hatte bereits einen mächtige-

<sup>16</sup> Th. Sonar: Die Geschichte des Prioritätsstreits zwischen Leibniz und Newton. Springer Spektrum, 2016, S. 215f.

<sup>17</sup> Turnbull et al. aaO., S. 109.

<sup>18</sup> Es handelt sich hier um die fehlerhafte Wiedergabe aus Vergils Ekloge 1, Vers 24f: „Aber diese [Stadt Rom] hat ihr Haupt so hoch über andere Städte erhoben wie Zypressen über biegsame Wandelröschensträucher.“ Gemeint ist also: So wie Rom über allen anderen Städte steht, so steht Leibniz über der Mathematik.

ren Kalkül entwickelt. Die Exzerpte der *Historiala* zeigen, dass Leibniz dieses Manuskript vorher noch nicht kannte. Jedenfalls wurde die *Historiola* nie, wie später behauptet, nach Paris geschickt.

Am 29. Oktober reist Leibniz aus London ab. Das Wetter ist schlecht und verzögert die Reise, so dass er erst am 13. November in Amsterdam ankommt. Er trifft den Bürgermeister und Mathematiker Jan Hudde und andere und unternimmt eine Reise über Haarlem, Leiden und Delft nach Den Haag, wo er mit Baruch de Spinoza zusammentrifft und mit ihm diskutiert. Am 24. November ist Leibniz wieder in Amsterdam, wo er eine Erkältung auskurieren muss. Er verläßt Amsterdam Ende November und ist irgendwann zwischen dem 10. Und 15. Dezember 1676 in Hannover und nimmt seine neue Tätigkeit als Bibliothekar der Herzoglichen Bibliothek auf<sup>19</sup>.

Folgen wir der Einschätzung Hofmanns<sup>20</sup>, dann wuchs in der Zwischenzeit Newtons Verdacht, Leibniz sei ein Plagiator und es sei ihm gelungen, aus Newtons *Epistola prior* die Grundzüge seiner Fluxionenrechnung zu rekonstruieren. Der vorlaute Brief von Tschirnhaus und die falsche Transkription „*ludus naturae*“ sollen diesen Verdacht befeuert haben. Auch andere haben die Theorie geäußert, dass Newton bereits nach dem Antwortbrief Leibnizens auf die *Epistola prior* negative Gedanken bzgl. Leibniz entwickelte<sup>21</sup>. Ich halte diese Theorie allerdings für eine Art Verschwörungstheorie, für die es keinerlei Anhaltspunkte gibt, denn Newtons zweiter Brief, die *Epistola posterior*, zeigt kein gesteigertes Mißtrauen. Die *Epistola posterior* ist eine kleine Abhandlung von 19 Seiten, die mit sehr freundlichen Worten beginnt<sup>22</sup>:

*„Leibnizens Methode zur Erlangung konvergenter Reihen ist sicherlich sehr elegant, und würde ausgereicht haben, das Genie des Autors deutlich zu machen, selbst wenn er sonst nichts weiter geschrieben hätte. Aber was er an anderen Stellen durchgehend in seinem Brief eingestreut hat ist seinem Ruf höchst wert – es lässt uns auch sehr große Dinge von ihm erwarten. Die Vielzahl von Wegen, auf denen dasselbe Ziel erreicht wird, hat mir große Freude gemacht, weil drei Methoden, um zu Reihen solcher Art zu kommen, mir bereits bekannt waren, so dass ich schwerlich erwarten konnte, dass uns eine neue mitgeteilt wird. Eine von meinen habe ich bereits vorher beschrieben; nun füge ich eine andere hinzu, ... Und eine Erklärung dieser wird dazu dienen darzulegen, was Leibniz von mir gewünscht hat, die Grundlage des Theorems nahe dem Anfang des vorherigen Briefes.“*

<sup>19</sup> Eine neuere und empfehlenswerte Leibniz-Biographie ist: M. R. Antognazza: Leibniz – An Intellectual Biography, Cambridge University Press, 2009.

<sup>20</sup> Hofmann, aaO. S. 259f.

<sup>21</sup> E. J. Aiton: Leibniz – Eine Biographie. Insel Verlag, 1991, S. 123.

<sup>22</sup> Turnbull aaO. Vol. II, S. 130.

Newton berichtet weiter, wie er 1665 die Fläche unter einer Hyperbel berechnete und er beschreibt auch den Wunsch Collins, dass er seine Ergebnisse veröffentlichen möge. Als er sich mit der Theorie des Lichts und der Farben befasste, setzte er sich auch wieder an ein neues mathematisches Manuskript, wobei zweifellos *De methodis* gemeint war. Allerdings gab es dann Streit um die Abhandlungen zu den Farben und Newton veröffentlichte *De methodis* daraufhin nicht.

Interessant für uns ist der Ton des Briefes. Die Arbeiten Leibnizens werden sehr lobend hervorgehoben und es findet sich nicht der kleinste Hinweis, dass Newton zu dieser Zeit in Leibniz einen Plagiator sah. In der *Epistola posterior* befinden sich auch die zwei berühmten Anagramme, mit denen Newton unzweifelhaft seine Priorität sichern wollte.

Allerdings unterscheidet sich das Schreiben, das wirklich an Leibniz abging, etwas von dem Entwurf erster Hand, den wir hier zitiert haben. Einige sehr freundliche Passagen über Leibniz wurden von Newton offenbar gestrichen. Newton bat Oldenburg in einem Brief vom 5. November 1676 um ein paar Änderungen an der *Epistola posterior* und schreibt<sup>23</sup>:

*„Ich fürchte ich war etwas zu streng in der Wahrnehmung einiger Flüchtigkeitsfehler in Herrn Leibnizens Brief, was die Gutherzigkeit und den Einfallsreichtum des Autors betrifft, und es mag mein eigenes Missgeschick durch hastiges Schreiben gewesen sein, das zu solchen Flüchtigkeitsfehlern führte. Aber da es sich um echte Flüchtigkeitsfehler handelt denke ich, dass er dafür nicht angegriffen werden kann. Wenn Sie denken, dass irgend etwas zu streng ausgedrückt ist, geben Sie mir bitte Bescheid und ich werde mich bemühen es abzumildern, wenn Sie es nicht selbst tun mit einem oder zwei Ihrer eigenen Worte. Ich glaube, Herr Leibniz wird das Theorem am Anfang meines Briefes auf Seite 4 zur geometrischen Quadratur gekrümmter Linien nicht ablehnen. Wenn ich irgendwann mehr freie Zeit habe ist es möglich, dass ich ihm einen ausführlichen Bericht dazu schicke: erläutern, wie es angeordnet ist um krummlinige Figuren miteinander zu vergleichen und wie die einfachste Figur gefunden werden kann, mit der eine vorgelegte Kurve verglichen werden kann. Mein Herr, ich bin*

*Ihr untertäniger Diener*  
Is. Newton“

Hofmann hat aus der *Epistola posterior* einen sich verändernden Ton herausgelesen und schließt daraus<sup>24</sup>:

*„Dieser Brief ist daher eine eigenartige Mischung eines singulären Konflikts von Gefühlen und kompakt beschriebener wissenschaftlicher Resultate – ...“*

<sup>23</sup> Turnbull aaO. Vol. II, S. 162f.

<sup>24</sup> Hofmann aaO. S. 273.

Dieser Einschätzung kann ich mich beim besten Willen nicht anschließen und ich bin damit nicht allein<sup>25</sup>. Warum sollte Newton einem ihm persönlich unbekannten Mann einen 19-seitigen Brief mit einigen Erläuterungen seiner Mathematik schreiben, wenn er ihn schon zu diesem Zeitpunkt für einen Plagiator hielt?

Die *Epistola posterior* verließ London erst spät, nämlich 22. Mai 1677 und erreichte Hannover am 1. Juli 1677. Leibniz antwortete praktisch sofort, aber in Hannover galt noch der julianische Kalender, in dem der 1. Juli der 21. Juni war, was die Engländer nicht beachteten, und daher den Brief um 10 Tage vordatierten. Leibniz schreibt sehr freundlich und bittet Newton um die Klärung einiger weniger Punkte, aber schon kurze Zeit später schickt Leibniz ein weiteres Schreiben, in dem er festhält, dass sich seine Unklarheiten bei nochmaligem Lesen der *Epistola posterior* geklärt hätten. Aber Newton antwortet nicht mehr. Zum einen war Oldenburg kurze Zeit später tot, desweiteren war Newton aber auch durch die Angriffe auf seine Farbentheorie so genervt, dass er auch nicht geantwortet hätte, hätte Oldenburg noch gelebt. Wie auch immer, im Antwortschreiben auf die *Epistola posterior* hatte Leibniz klar gezeigt, dass er ebenfalls auf eine neue Mathematik gestoßen war, die der Newtons in nichts nachstand. Die Bedeutung der genialen d-Notation, die Leibniz in seinem Antwortbrief erstmalig öffentlich macht, hat Newton wohl nie verstanden oder verstehen wollen. Die Kommunikation ruht auf absehbare Zeit.

### Die Differentialrechnung wird veröffentlicht

Leibniz stand nun in Diensten des Hannoveraners und er war neben der Mathematik mit zahlreichen weiteren Beschäftigungen eingedeckt. Im Jahr 1684 erschien ein Meilenstein der Leibniz'schen Differentialrechnung, die Arbeit *Nova methodus pro maximis et minimis* in den Leipziger *Acta Eruditorum*. In sehr knapper Form, mit zahlreichen Druckfehlern und kaum verständlich für seine Zeitgenossen legt Leibniz hier die Grundlagen seines Kalküls dar. Dennoch setzt sich Leibnizens neue Mathematik schnell durch. In England (!) erscheint schon 1685 ein Buch von John Craig, in der auf Leibnizens Bestimmung von Tangenten an Kurven Bezug genommen wird. Aus Anlass einer Stellungnahme zu Craigs Buch verfasst Leibniz 1686 eine Schrift *De geometria recondita et analysi indivisibilium atque infinitorum, Addenda his quae dicta sunt in Actis a. 1684, Maji p. 233; Octob. p. 264; Decemb. P. 586* (Die hintergründige Geometrie und Analysis des Indivisiblen und des Unendlichen. Ergänzungen zu dem, was in den *Acta* des Jahres 1684, Mai S. 233; Oktober S. 264; Dezember S. 586

<sup>25</sup> A. Rupert Hall: *Philosophers at War – The quarrel between Newton and Leibniz*, Cambridge University Press 1980, S. 67.

ausgeführt ist), was seine Differentialrechnung nun weiteren Kreisen bekannt macht. Leibniz schreibt dort:

*„Ich sehe, dass etliches von dem, was ich in diesen Acta zum Fortschritt der Geometrie veröffentlicht habe, von einigen Gelehrten in nicht geringem Maße geschätzt und sogar allmählich in Anwendung gebracht wird, einiges jedoch, sei es aufgrund von Fehlern des Verfassers, sei es aus anderen Gründen von manchen nicht ausreichend verstanden worden ist. Daher habe ich es für der Mühe wert erachtet, hier etwas hinzuzufügen, was das bisher Veröffentlichte erhellen kann.“*

Ab Oktober 1684 ist die Leibniz'sche Differentialrechnung und ihre Symbolik jedenfalls „in der Welt“ und sie tritt nun einen Siegeszug an, den wohl auch Leibniz so nicht vorhersehen könnte. Leibniz beginnt schon mit der Durchdringung der Mechanik durch seinen Kalkül, und Leonhard Euler stellt die Mechanik im 18. Jahrhundert vollständig auf die Grundlage der Differential- und Integralrechnung. Fluidmechanik, Wellenoptik, Elastizitätstheorie und jede andere Theorie im Rahmen der Kontinuumsmechanik sind heute ohne die Leibniz'sche neue Mathematik nicht denkbar.

### **Philosophiae naturalis principia mathematica**

Im Jahr 1687 veröffentlichte Newton sein großes Werk *Philosophiae naturalis principia mathematica*, das den Beginn der modernen Physik markiert. Leibniz liest 1688 eine Buchbesprechung der *Principia* von Christoph Pfautz in den Acta Eruditorum und publiziert daraufhin hastig drei originelle Arbeiten in Folge, in denen er seine eigenen Überlegungen zur Physik darlegt. Später wird Leibniz sagen, dass er die *Principia* nicht kannte, als er seine drei Arbeiten schrieb. Wir wissen heute, dass diese Behauptung falsch war! Leibniz hatte sehr wohl ein Exemplar der Newton'schen *Principia* vorliegen.

Pikant und für Leibniz, Huygens und viele andere nicht zu akzeptieren war Newtons Gravitation, für die es keinerlei mechanistische Erklärung gab. Es war einfach eine „okkulte“ Kraft und Leibniz und Huygens waren überzeugte Vertreter einer Wirbeltheorie, nach der sich die Planeten in einem Äther durch Wirbel um die Sonne bewegten. Die drei Leibniz'schen Arbeiten, die unter dem Eindruck der *Principia* entstanden sind, werden später in den Prioritätsstreit hineingezogen.

In unserem Zusammenhang ist ein Scholium von Bedeutung, dass sich in den *Principia* im zweiten Kapitel des zweiten Buches direkt hinter Lemma II befindet und noch in der zweiten Auflage aus dem Jahr 1713 enthalten ist:

*„Als ich in einem Brief, der vor nunmehr zehn Jahren zwischen mir und dem hochgebildeten Geometer G.W. Leibniz gewechselt wurde, zu erkennen gab,*

*dass ich im Besitz eines Verfahrens zur Bestimmung von Maxima und Minima, zum Ziehen von Tangenten und zur Ausführung ähnlicher Dinge sei, welches bei irrationalen Ausdrücken ebenso wie bei rationalen vorgeht, und ich in dem übermittelten Brief, der den Satz „Bei gegebener Gleichung, die beliebig viele fluente Größen enthält, bestimme man die Fluxionen und umgekehrt“ enthielt, ebendiesen verschlüsselte<sup>26</sup>, schrieb der hochberühmte Mann zurück, dass auch er auf ein solches Verfahren gekommen sei, und teilte sein Verfahren mit, welches außer in der Wahl der Worte und Bezeichnungen von meinem kaum verschieden ist. Die Grundlage für die beiden [Verfahren] ist in diesem Lemma enthalten.“*

Dieses Scholium enthielt ein hohes Lob für Leibniz – noch ist der Prioritätsstreit gar nicht ausgebrochen. In der dritten und letzten von Newton besorgten Auflage der *Principia* aus dem Jahr 1726 – 10 Jahre nach Leibnizens Tod – ist der Name Leibnizens getilgt und das Scholium liest sich nun wie folgt:

*„In einem an unseren Landsmann Hrn. J. Collins gerichteten Brief vom 10. Dezember 1672 fügte ich, nachdem ich ein Verfahren zur Tangentenbestimmung beschrieben hatte, von dem ich vermutete, dass es mit dem damals noch nicht veröffentlichten Verfahren von Sluse identisch sei, folgende Bemerkung hinzu: Dies ist ein Spezialfall oder vielmehr ein Korollar eines allgemeinen Verfahrens, welches sich ohne lästige Rechnung nicht nur auf das Ziehen von Tangenten an beliebigen Kurven, gleichgültig ob es geometrische oder mechanische sind, oder auf das Ziehen von irgendwie gerichteten Geraden oder anderen Kurven erstreckt, sondern auch auf das Lösen anderer schwieriger Arten von Problemen hinsichtlich der Krümmungen, der Flächeninhalte, der Längen, der Schweremittelpunkte von Kurven etc., und nicht nur (wie Huddens Verfahren [in] Über die Maxima und Minima) auf solche Gleichungen beschränkt ist, die keine irrationalen Größen enthalten. Dieses Verfahren habe ich mit jenem anderen [Verfahren] verbunden, mit dem ich die Auswertung von Gleichungen dadurch vornehme, daß ich sie in unendliche Reihen umforme. Soweit der Brief. Diese letzten Worte beziehen sich auf eine Abhandlung, die ich darüber im Jahre 1671 geschrieben habe. Die Grundlage für dieses allgemeine Verfahren aber ist in dem vorangegangenen Lemma enthalten.“*

Es ist erschütternd zu lesen, dass der alte Newton noch 10 Jahre nach dem Tod Leibnizens noch darauf bedacht war, die Priorität der Entdeckung der Infinitesimalrechnung für sich zu reklamieren. Die Größe, Leibnizens Leistungen anzuerkennen, besaß er nicht mehr.

<sup>26</sup> Gemeint sind die beiden Anagramme in der *Episola posterior*.



Spätestens bei der Sitzung der Royal Society am 22. Juni 1689 lernt Newton einen jungen Wissenschaftler aus der Schweiz kennen, Nicolas Fatio de Duillier. Fatio hatte sich in Paris bei dem Astronomen Giovanni Domenico Cassini aufgehalten und konnte das von Cassini beobachtete Zodiakallicht theoretisch erklären. Das brachte ihm einen hervorragenden Ruf als jungem Wissenschaftler ein und machte ihn bekannt. Der 56-jährige Newton und der erst 25 Jahre alte Fatio fühlten sich wohl sofort zueinander hingezogen, jedenfalls entwickelte sich eine innige Freundschaft. Heute wird viel über eine homosexuelle Beziehung spekuliert, für die es keinerlei Anhaltspunkte gibt. Vielleicht hat Newton, der nie eine Familie gründete, in Fatio den Sohn erkannt, den er nie hatte. Fatio und Newton diskutieren über die *Principia* und über Theologie, aber Fatio korrespondierte auch mit den Wissenschaftlern auf dem Kontinent, insbesondere mit Huygens. Der Bruch zwischen Fatio und Newton, der auf Fatos Initiative hin im Jahr 1693 erfolgt, ist wohl auch ursächlich für die Zeit der „geistigen Umnachtung“ Newtons verantwortlich<sup>27</sup>, die man früher gerne auf eine Quecksilbervergiftung oder einen Brand in Newtons Laboratorium zuschrieb. Fatio wird den Prioritätsstreit beginnen, wie wir gleich sehen werden.

### Die erste Attacke: Fatio und Wallis

Zu Beginn der 1690er Jahre hatte eine neue Mathematikergeneration die Bühne betreten. Berühmte Vertreter der „Leibniz-Schule“ waren es die Brüder Jakob und Johann Bernoulli und der Marquis de l'Hospital, der 1696 das erste Lehrbuch zur Leibniz'schen Analysis schreiben wird. In England ist die Situation für Newton nicht ganz so komfortabel, aber Newton unterstützte David Gregory (1659–1708), den er für den Savilianischen Lehrstuhl für Astronomie in Oxford vorgeschlagen hatte. In einem Brief an Gregory – es ging um Newtons Erlaubnis, eine auf ihn zurückgehende Reihe publizieren zu dürfen -- findet sich folgende Passage von Newtons Hand<sup>28</sup>:

*„Aber weil Ihr mich mit Eurer gewohnten Höflichkeit nach meiner Reihe als Gegenleistung fragt, ist es notwendig für mich, zuerst einige Punkte zu erklären, die damit in Zusammenhang stehen. Dass nämlich der sehr berühmte Herr G.W. Leibniz vor 15 Jahren mit mir eine von Herrn Oldenburg geleitete Korrespondenz führte, und ich nahm die Gelegenheit wahr, meine Methode der unendlichen Reihen darzulegen, und im zweiten meiner Briefe, datiert am 24. Oktober 1676, beschrieb ich diese Reihe.“*

Eigentlich hätte sich Newtons Zorn über Gregory entladen müssen, denn dieser hatte ein Newton'sches Ergebnis als sein eigenes publiziert, aber stattdessen

---

<sup>27</sup> Th. Sonar, aaO. S. 312f.

<sup>28</sup> Turnbull aaO. Vol. III, S. 182.

dient Leibniz als „Blitzableiter“. Fatio war gerade zu dieser Zeit bei Newton. Hat er hier als Provokateur gewirkt und Newtons Gedanken auf Leibniz gerichtet? Wir wissen es nicht, aber unwahrscheinlich ist es nicht.

Im Zusammenhang mit der Korrespondenz mit Gregory kommt Newton auch wieder auf die Mathematik zurück: Er schreibt das Manuskript *De quadratura curvarum* über seine Fluxionen/Fluentenrechnung, in dem er beeindruckende Resultate zur Quadratur von Kurven aufschreibt. *De quadratura* enthält erstmals Newtons neue Punktnotation für die Fluxionen und die Taylor'sche Reihe, die Brook Taylor zwanzig Jahre später erneut entdecken wird und die heute nach ihm benannt ist. Newton publiziert *De quadratura* aus Angst vor Kritik nicht.

Am 28. Dezember 1691 schreibt Fatio an Huygens einen Brandbrief gegen Leibniz<sup>29</sup>:

*„Von allem, was mir bisher zu sehen möglich war, darunter ich Papiere rechne, die vor vielen Jahren geschrieben wurden, scheint mir, dass Herr Newton ohne Frage der erste Autor des Differenzialkalküls war und dass er es genau so gut oder besser wusste als Herr Leibniz, es nun weiß, bevor der letztere auch nur eine Idee davon hatte. Diese Idee kam zu ihm, so scheint es, nur auf Grund der Tatsache, dass Herr Newton ihm davon schrieb. (Bitte, mein Herr, schaut auf Seite 235 von Herrn Newtons Buch<sup>30</sup>). Weiterhin kann ich nicht genug über-rascht sein, dass Herr Leibniz darüber nichts in den Leipziger Acta andeutet.“*

Hier nun finden wir zum ersten Mal einen klaren Plagiatsvorwurf an Leibniz offen ausgesprochen! Aber Fatio legt in einem Brief an Huygens vom Februar 1692 nach<sup>31</sup>:

*„Die Briefe, die Herr Newton vor 15 oder 16 Jahren an Herrn Leibniz schrieb, sagen viel mehr als die Stelle in den 'Principia', von der ich Ihnen berichtet habe, die aber nichtsdestotrotz klar genug ist, besonders wenn die Briefe es erklären. Ich habe keinen Zweifel, dass sie Herrn Leibniz beschädigen würden wenn man sie druckte, denn es war geraume Zeit nach ihnen, dass er die Regeln seines Differenzialkalküls der Öffentlichkeit übergab, und das, ohne Herrn Newton die Gerechtigkeit widerfahren zu lassen, die er ihm schuldete. Und die Art, in der er es präsentiert hat, ist so weit entfernt von dem was Herr Newton auf diesem Gebiet hat, dass ich bei einem Vergleich nicht umhin kann deutlich zu denken, dass ihr Unterschied wie der zwischen einem perfekten Original und einer verpfuschten und sehr unperfekten Kopie ist. Es ist wahr, mein Herr, wie Ihr schon geahnt habt, dass Herr Newton alles hat, was Herr Leibniz scheinbar*

<sup>29</sup> Turnbull aaO. Vol. III, S. 186f.

<sup>30</sup> Gemeint sind die *Principia*. Auf S. 235 befindet sich die Produktregel der Differentialrechnung.

<sup>31</sup> R.S. Westfall: *Never at Rest. A Biography of Isaac Newton*, Cambridge Univ. Press 1983, S. 517.

*hat, und alles was ich selbst hatte und was Herr Leibniz nicht hatte. Aber er ging unendlich viel weiter als wir, sowohl in Bezug auf Quadraturen, als auch in Bezug der Eigenschaft der Kurve, wenn man sie von den Eigenschaften der Tangente her finden muss.“*

Im Sommer 1692 fordert der Doyen der englischen Mathematik, John Wallis (1616–1703), Newton auf, er möge was er wolle in Wallis' *Opera* publizieren, die in Kürze erscheinen sollten. Newton sah hier einen Weg, seine Priorität zu belegen, aber Wallis fragte ihn auch nach den Arbeiten von Leibniz. Im Jahr 1693 erschien der zweite Band noch vor dem ersten. Am 17. März 1693 schreibt Leibniz erneut an Newton<sup>32</sup>:

*„An den berühmten Isaac Newton*

*Gottfried Wilhelm Leibniz freundliche Grüße*

*Wie groß nach meiner Meinung die Schuld ist, die Euch zusteht, durch Euer Wissen in Mathematik und der gesamten Natur, habe ich in der Öffentlichkeit auch anerkannt wo sich die Gelegenheit bot. Ihr habt der Geometrie eine erstaunliche Entwicklung durch Eure Reihen gegeben; aber als Ihr Euer Werk veröffentlicht, die 'Principia', zeigtet Ihr, das selbst das, was nicht der erhaltenen Analysis unterliegt, ein offenes Buch für Euch ist. Auch ich habe durch die Anwendung von bequemen Symbolen, die Differenzen und Summen anzeigen, versucht diese Geometrie vorzulegen, die ich 'transzendent' nenne, die in gewisser Weise zur Analysis steht, und der Versuch verlief nicht schlecht. Aber für die letzten Feinheiten warte ich noch auf etwas Großes von Euch, [...]*

[Hier wird Leibniz konkreter und bittet Newton um Details zur „inversen Tangentenmethode“, d.h. zu Methoden zur Lösung von Differentialgleichungen.]

*[...] Mein Landsmann Heinson hat mich bei seiner Rückkehr Eurer freundlichen Gefühle für mich versichert. Aber meine Verehrung für Euch kann nicht nur er bezeugen, sondern auch Stepney, der einst Euer Fellow im selben College, [...]*

*[...] Ich schreibe dies eher, damit Ihr meine Ergebenheit Euch gegenüber versteht, eine Ergebenheit, die nichts durch das Schweigen so vieler Jahre verloren hat, anstatt Euch mit leeren, und schlimmeren als leeren Briefen die hingebungsvollen Studien, durch die Ihr die Vermögen der Menschheit erhöht, zu stören.*

*Lebt wohl.“*

War Leibniz aufgeschreckt als er von Huygens von der geplanten Publikation Newton'scher Ergebnisse in Wallis' *Opera* erfuhr? Warum sollte er?

<sup>32</sup> Turnbull aaO. Vol. III, S. 257ff.

Es ist die Zeit des geistigen Zusammenbruchs Newtons und so antwortet dieser auch erst am 26. Oktober 1693<sup>33</sup>:

*„Ich habe nicht sofort nach Erhalt Eures Briefes geantwortet, er glitt mir aus der Hand und war lange unter meinen Papieren verlegt und ich konnte seiner nicht habhaft werden bis gestern. Das ärgerte mich, da ich Eure Freundschaft sehr hoch schätze und ich Euch seit vielen Jahren für einen der führenden Geometer dieses Jahrhunderts halte, was ich bei jeder sich bietenden Gelegenheit bestätigt habe. Ich hatte jedoch Angst, dass unsere Freundschaft durch die Stille kleiner geworden sei, erst recht seit dem Moment, als unser Freund Wallis in seiner bevorstehenden neuen Ausgabe seiner 'Geschichte der Algebra'<sup>34</sup> einige neue Dinge aus Briefen, die ich einst an Euch über Herrn Oldenburg schrieb, einfügte, und mir so eine Handhabe gibt, Euch auch zu dieser Frage zu schreiben. [...]*

[Hier erläutert Newton eines seiner Anagramme aus dem Briefwechsel des Jahres 1676]

*[...] Ich hoffe in der Tat, dass ich nichts geschrieben habe was Euch missfällt, und falls da irgend etwas ist, das Eurer Ansicht nach Kritik verdient, lasst es mich durch einen Brief wissen, denn ich werte Freunde höher als mathematische Entdeckungen.“*

Und Newton schließt:

*„Mein Ziel auf diesen Seiten war es den Beweis zu geben, dass ich Euer höchst aufrichtiger Freund bin und dass ich Eure Freundschaft sehr hoch schätze. Lebt wohl. [...]*

*Ich wünschte Ihr würdet die Rektifizierung der Hyperbel veröffentlichen, auf die Ihr als ältere Entdeckung von Euch Bezug genommen habt.“*

Dieser Brief markiert das Ende der Korrespondenz; Leibniz wird nicht mehr darauf antworten. Erst im Herbst 1694 bekommt Leibniz den Wallis'schen Band zu Gesicht und konnte nun sicher sein, dass er wesentlich weiter war als Newton.

Als im Jahr 1695 der zweite Band der Wallis'schen *Opera* erschien, wurde ein anderer Ton erkennbar, denn Wallis ergriff ganz Partei für Newton: Er habe, so Wallis, Newtons Methode aus den beiden *Epistolae* des Jahres 1676 entnommen<sup>35</sup>,

*„die dann Leibniz in fast gleichen Worten mitgeteilt wurden, in denen er [Newton] diese Methode Leibniz erklärt, die er vor mehr als zehn Jahren ausgearbeitet hatte.“*

<sup>33</sup> Turnbull aaO. Vol. III, S. 285ff.

<sup>34</sup> Das ist der zweite Band der Wallis'schen *Opera*.

<sup>35</sup> Hall aaO. S. 95.

Aber Newtons Methode wurde Leibniz zu keiner Zeit mitgeteilt! In einem Brief an einen Bekannten schreibt Leibniz<sup>36</sup>:

*„Ich bin sehr zufrieden mit Herrn Newton, aber nicht mit Herrn Wallis, der mich in seinen letzten Werken auf Latein durch eine amüsante Neigung, alles seiner eigenen Nation zuzuschreiben, ein wenig kühl behandelt.“*

Leibniz verfasste Buchbesprechungen zu den beiden Wallis'schen Bänden, die in den *Acta Eruditorum* erschienen. Zum zweiten Band schrieb Leibniz kühl aber höflich, er sei bereits seit 20 Jahren im Besitz seines eigenen Kalküls gewesen, woraufhin Wallis ihn um Abschriften einiger Briefe bat, die Leibniz aber in seinen Papieren nicht finden konnte. Als Wallis schreibt, dass die Leibniz'sche Differentialrechnung und der Newton'sche Fluxionenalkül stark übereinstimmen widerspricht Leibniz und schreibt, dass es erhebliche Unterschiede gebe.

Nun regt sich Johann Bernoulli und beschwert sich bei Leibniz, dass dessen Kalkül bei Wallis nicht genug gewürdigt worden sei. Als Leibniz ruhig und gelassen antwortet wird Bernoulli deutlicher und schreibt<sup>37</sup>:

*„... so dass ich nicht weiß, ob oder ob nicht Newton seine eigene Methode er-sann, nachdem er Euren Kalkül gesehen hat, insbesondere als ich sehe, dass Ihr ihm Eure Methode mitgeteilt habt, bevor er seine Methode [in den Principia] veröffentlicht hatte.“*

Hier nun finden wir den ersten Plagiatsvorwurf an die englische Seite! In der Tat gehört der streitlustige Johann Bernoulli zu den „Hunden des Krieges“, die den Prioritätsstreit heraufbeschworen haben.

Für den dritten Band seiner *Opera* läßt Wallis nun die Briefbücher und Unterlagen der Royal Society durchsuchen. Nur enthalten die Briefbücher nicht die vollständige Korrespondenz: Oldenburg hatte nur die Teile aus Briefen kopiert, die ihm für die Royal Society wichtig erschienen, aber Gregory und Wallis bekamen wohl mehr und mehr den Eindruck, dass Leibniz ein Plagiator war! Entsprechend fiel der dritte Band, der 1699 veröffentlicht wurde, aus. De l'Hospital erhielt ihn im Juli 1699 und schrieb sogleich an Leibniz<sup>38</sup>:

*„Wallis hat einen dritten Band seiner mathematischen Werke veröffentlicht, in dem er einige Eurer Briefe an Herrn Newton und andere eingefügt hat, und das, glaube ich, mit der Absicht, dem letzteren die Erfindung Eures Differenzialkalküls zuzuschreiben, den Newton 'Fluxionen' nennt. Es scheint mir, dass die Engländer jedes mögliche Mittel nutzen, um den Ruhm dieser Entdeckung für ihre Nation in Anspruch zu nehmen.“*

<sup>36</sup> ebenda S. 95.

<sup>37</sup> ebenda S. 117.

<sup>38</sup> M.R. Antognazza: Leibniz. An Intellectual Biography, Cambridge Univ. Press 2009, S. 428.

Leibnizens Antwort ist bezeichnend für seine Friedfertigkeit<sup>39</sup>:

*„Dass Wallis, wie Ihr sagtet, ein wackerer Streiter für Englands Ruhm ist, ist Grund für Lob eher denn für Tadel. Ich werfe manchmal meinen Landsmännern vor, dass sie nicht hinreichend wackere Streiter für deutschen Ruhm sind. Wettstreit unter Nationen, der uns nicht verleiten soll, schlecht von anderen zu sprechen, wird nichtsdestotrotz den Vorteil haben, dass wir uns bemühen, es anderen gleichzutun oder andere zu überbieten. Die Frucht solchen Wettstreits kommt zu jedermann; ihr Lob zu denen, die ihn verdienen.“*

### Die zweite Attacke: Fatio

Es war gute Tradition, dass sich die Mathematiker Europas gegenseitig Aufgaben stellten und auch Leibniz und Johann Bernoulli liebten solche Herausforderungen. Eine davon war die Kurve des schnellsten Abstiegs, die Brachistochrone; eine Aufgabe, die Johann Bernoulli in Absprache mit Leibniz stellte. In einer Arbeit, die im Mai 1697 in den *Acta Eruditorum* erschien, erläuterte Leibniz die Aufgabe und gab seine Lösung an. Dann folgten die fünf weiteren Lösungen, die überhaupt nur eingegangen waren, nämlich von Johann Bernoulli, Jakob Bernoulli, de l'Hospital, Tschirnhaus und Newton. In dieser Arbeit schrieb Leibniz:

*„Und in der Tat ist es nicht unangemessen anzumerken, dass nur diejenigen das Problem gelöst haben, von denen ich angenommen hatte, dass sie es lösen könnten, also nur jene, die in die Geheimnisse unseres differentialen Kalküls ausreichend [weit] eingedrungen waren. Und als ich solches außer für den Herrn Bruder des Problemstellers für den Marquis de l'Hospital in Frankreich vorhergesagt hatte, hatte ich [noch] obendrein hinzugefügt, dass meines Erachtens Herr Huygens, wenn er denn [noch] lebte, Herr Hudde, wenn er diese Studien nicht längst aufgegeben hätte, und Herr Newton, wenn er diese Mühe auf sich nehmen sollte, der Aufgabe gewachsen wären; ...“*

Und hier nun fand Fatio den Aufhänger für einen Schlag gegen Leibniz! Seit 1698 lebte Fatio wieder in England und wie selbstverständlich sah er sich selbst als eminenten Mathematiker. Nun schrieb Leibniz, er hätte nur den Bernoullis, de l'Hospital und Newton für Fähig gehalten, die gestellte Aufgabe zu lösen. Eine Frechheit. Fatio schlug nun offen zurück. In einer Schrift *Lineae brevissimi descensus investigatio geometrica duplex* (Zweifache geometrische Untersuchung der Linie des kürzesten Abstiegs) lesen wir<sup>40</sup>:

<sup>39</sup> ebenda S. 429.

<sup>40</sup> H.-J. Hess: Leibniz auf dem Höhepunkt seines mathematischen Ruhms. *Studia Leibnitiana* Band 37, 2005, Heft 1, S. 65.

*„Ich bin durch die Evidenz der Sachlage gezwungen anzuerkennen, dass Newton der erste und – mit vielen Jahren Vorsprung – älteste Erfinder dieser Rechnungsart ist. Ob Leibniz, der zweite Erfinder, von ihm etwas übernommen hat, möchte ich weniger selbst entscheiden als dem Urteil derjenigen überlassen, die Newtons Briefe und seine anderen Handschriften gesehen haben.“*

Und weiter<sup>41</sup>:

*„Niemanden, der durchstudiert, was ich selber an Dokumenten aufgerollt habe, wird das Schweigen des allzu bescheidenen Newton oder Leibnizens vordringliche Geschäftigkeit täuschen.“*

Das war nun eine öffentliche Attacke auf Leibnizens Integrität, da Fatio's Manuscript in den Transactions der Royal Society erschien. Leibniz wandte sich an Wallis und beschwerte sich über Fatio's Impertinenz. Wallis, wohl mehr als überrascht, schrieb an den Sekretär der Royal Society, und von diesem erhielt Leibniz ein Entschuldigungsschreiben. Offenbar hatte Fatio sich den Imprimatur der Royal Society erschlichen und offenbar wußte selbst Newton nichts von Fatio's Angriff. Aber Leibniz ging jetzt weiter: Er schickte Johann Bernoulli vor, der in den *Acta Eruditorum* eine Polemik gegen Fatio veröffentlichte. Erst dann wagte sich Leibniz mit einer gemäßigten Erwiderung hervor, in der Fatio dann sehr geschickt Hiebe bekommt. Tatsächlich hat Fatio auf diese Erwiderung an den Herausgeber der *Acta Eruditorum* geantwortet und bestätigt, dass Newton mit seinem Vorgehen nicht einverstanden war.

Die erste Attacke fand nur im privaten Briefwechsel zwischen Fatio und Huygens statt, die zweite Attacke konnte abgewehrt werden, aber die dritte ließ den schwelenden Konflikt mit aller Macht aufbrechen.

### **Die dritte Attacke: John Keil und Johann Bernoulli**

Wir haben keinerlei Hinweis darauf, dass Newton im Jahr 1699 irgendwelche Zweifel an Leibnizens Integrität hegte. Während der Leibniz'sche Kalkül große Erfolge feiert, hat Newton bzgl. Seiner Fluxionenrechnung noch nichts publiziert. Das ändert sich erst 1704.

Am 14. März 1703 starb der größte Kritiker der Newton'schen Licht- und Farben-theorie, Robert Hooke. Damit war für Newton der Hauptgrund, der ihn von einer Publikation fernhielt, verschwunden. So erschien 1704 Newtons zweites großes Werk, die *Opticks: or, a Treatise of the Reflexions, Refractions, Inflex-*

<sup>41</sup> J.O. Fleckenstein: Der Prioritätsstreit zwischen Leibniz und Newton. Isaac Newton. Birkhäuser Verlag, 2te Auflage 1977, S. 23.



*ions and Colours of Light. Also Two Treatises of the Species and Magnitude of Curvilinear Figures.* Und eine der beiden beigegebundenen Arbeiten war ... *De quadratura*! Nun endlich hatte Newton wohl eingesehen, dass er seine viele Jahre alten mathematischen Arbeiten publizieren musste. In der Einführung zu *De quadratura* finden wir den Newton'schen Prioritätsanspruch<sup>42</sup>:

„Dann, in Anbetracht dass Größen wachsen und in die Welt kommen durch Wachstum in gleichen Zeiten, größer werden oder kleiner in Übereinstimmung mit der größeren oder kleineren Geschwindigkeit mit der sie wachsen und erzeugt werden, wurde ich zu einer Methode der Bestimmung von Größen aus den Geschwindigkeiten der Bewegung oder dem Inkrement, durch welches sie erzeugt werden, geleitet; und, diese Geschwindigkeiten der Bewegung oder des Inkrements 'Fluxionen' nennend und die so geborenen Größen 'Fluents', kam ich im Jahr 1665 auf die Methode der Fluxionen, die ich hier angewendet habe in der Quadratur von Kurven.“

In den *Acta Eruditorum* vom Januar 1705 veröffentlichte Leibniz eine positive, fünfseitige Buchbesprechung der *Opticks* und ging dabei auch auf *De quadratura* ein<sup>43</sup>:

„Dementsprechend verwendet Herr Newton statt der Leibniz'schen Differenzen, und hat das immer getan, Fluxionen, die beinahe dasselbe sind wie die Inkremente der Fluents, die in den geringsten Teilen der Zeit erzeugt werden. Er hat eleganten Gebrauch dieser beiden in seinen *Principia Mathematica* und seither in anderen Veröffentlichungen gemacht, gerade so wie Honoré Fabri in seiner *Synopsis Geometrica* durch das Fortschreiten von Bewegungen die Methode des Cavalieri ersetzt hat.“

Dieser Abschnitt sollte fünf Jahre später den Sprengsatz zünden. Newton dürfte diese Buchbesprechung entweder gar nicht, oder aber nur oberflächlich gelesen haben. Ganz anders John Keill, ein in der Wolle gefärbter Newtonianer, der 1708 in der Nummer 317 der *Philosophical Transactions* eine Arbeit zu Zentrifugalkräften schrieb, in der es heißt:

„All diese [Sätze] folgen aus der jetzt sehr berühmten Arithmetik der Fluxionen, die Herr Newton ohne Zweifel zuerst erfand, wovon sich jeder, der seine von Wallis veröffentlichten Briefe liest, leicht überzeugen kann; dieselbe Arithmetik unter einem anderen Namen und eine andere Bezeichnung verwendend wurde jedoch später in den *Acta Eruditorum* von Herrn Leibniz veröffentlicht.“

Newton wird später sagen, dass er von diesem Angriff Keills nicht informiert und auch nicht begeistert war, allerdings änderte sich seine Einstellung wohl,

<sup>42</sup> Sonar aaO. S.395.

<sup>43</sup> Hall aaO. S. 138.

als Keill ihm die Leibniz'sche Buchbesprechung zeigte! Was hatte Leibniz geschrieben? Newton hätte die Leibniz'schen Differenzen in Fluxionen ausgedrückt, so wie Honoré Fabre die Methode des Cavalieri ersetzt hat? Cavalieri war „Champions League“, Fabre dagegen bestenfalls „zweite Bundesliga“. Für Keill bedeutete das unzweifelhaft eine öffentliche Zurücksetzung Newtons.

Nun erschien die Nummer 317 erst 1710 und Leibniz schrieb im März 1711 einen Beschwerdebrief an den Sekretär der Royal Society. Offensichtlich glaubte er, diese Frechheiten Keills genau so zum Verstummen bringen zu können wie seinerzeit den Angriff Fatios. Da hatte er sich getäuscht. Keill wurde beauftragt, einen Antwortbrief an Leibniz zu verfassen, der die Anschuldigen noch einmal wiederholte. Inzwischen hatte Keill Newton davon überzeugt, dass Leibniz ein Plagiator war. Newton war zum Präsidenten der Royal Society gewählt worden und stellte nun ein Komitee zusammen, dass die Beschwerde untersuchen und beantworten sollte. Wir wissen heute, dass Newton hinter den Kulissen alle Fäden zog und das *Commercium epistolicum* im wesentlichen selbst verfasste. Damit war Newton klar als der erste Erfinder des Kalküls und Leibniz war als Plagiator gebrandmarkt. Das Komitee diente lediglich als Feigenblatt.

Das *Commercium epistolicum* wurde von der Royal Society begrüßt. Es erschien 1713 und wurde freizügig kostenlos verteilt.

## Die Eskalation

Der Neffe Johann Bernoullis brachte das *Commercium epistolicum* von einem Englandsaufenthalt mit und Johann Bernoulli informierte umgehend Leibniz. Leibniz antwortete<sup>44</sup>:

*„Ich habe das kleine englische Buch [Commercium epistolicum] noch nicht gesehen, das gegen mich gerichtet ist; diese idiotischen Argumente, die sie (wie ich Eurem Brief entnehme) gegen mich vorgebracht haben, gehören mit satirischem Witz geißelt. Sie wollen Newton im Besitz seines von ihm selbst erfundenen Kalküls belassen, und doch scheint es, dass er unseren Kalkül nicht besser kannte als Apollonius den algebraischen Kalkül von Vieta und Descartes. Er kannte Fluxionen, aber nicht den Kalkül der Fluxionen, den er (wie Ihr richtig urteilt) in einer späteren Etappe zusammensetzte, nachdem unser eigener bereits veröffentlicht war. Also habe ich ihm mehr als Gerechtigkeit angedeihen lassen, und das ist der Preis, den ich für meine Freundlichkeit zahle.“*

---

<sup>44</sup> Turnbull aaO. Vol. VI, S. 8.

Nun kippt also auch bei Leibniz die Stimmung; er hält nun Newton für den Plagiator. Leibniz und Bernoulli beginnen nun mit einer zweigleisigen Taktik. Bernoulli sucht nach mathematischen Fehlern Newtons und findet auch gleich einen in den *Principia*, während Leibniz die „okkulte“ Gravitationstheorie Newtons kümmert. Aus der letzteren Stoßrichtung entwickelt sich ein noch heute für die Philosophie interessanter Briefwechsel von jeweils 5 Briefen zwischen Samuel Clarke und Leibniz, der mit Leibnizens Tod 1716 endet. Neben diesen beiden Stoßrichtungen netzt Leibniz noch ein Flugblatt, die *Charta volans*, in der er seine Sicht der Dinge darstellt und Newton des Plagiaten bezichtigt. Newton hält die *Charta volans* im Herbst 1713 in Händen. Seine Hoffnung, Leibniz mit dem *Commercium epistolicum* zum Schweigen bringen zu können, hat sich nicht erfüllt. Newton entwirft eine Antwort auf das Flugblatt und läßt John Keill für ihn in den Ring steigen. Auf Leibnizens Seite kämpft Johann Bernoulli ebenso unnachgiebig. Er hat die Idee, den Engländern mathematische Aufgaben zu stellen, um zu zeigen, dass sie diese nicht lösen können, und diese Strategie geht voll auf. Der Leibniz'sche Kalkül ist flexibler als der Newton'sche und für die Verallgemeinerung auf mehrere Raumdimensionen besser geeignet.

Newton verfasst noch eine anonym erschienene Schrift, die seine Sicht der Dinge enthält und das *Commercium epistolicum* stützen und erläutern soll. Dann stirbt Leibniz am 14. November 1716, aber der Prioritätsstreit geht weiter, denn Bernoulli und Keill sind noch im Ring! Im Jahr 1722 erscheint noch eine Neuauflage des *Commercium epistolicum* und 1727 stirbt schließlich Newton.

Die Nachwirkungen des Prioritätsstreits waren bitter für die englische Wissenschaft, die bis ins 19. Jahrhundert hinein sklavisch an Newtons Fluxionenrechnung und der Punktnotation festhielt, während auf dem Kontinent die Entwicklung der Mathematik und Physik durch den Leibniz'schen Kalkül stürmisch vorstatten ging. Der Nationalheld Newton wurde erst im 19. Jahrhundert durch Augustus de Morgan von seinem Sockel gestoßen. Seither weiß man auch in England, dass Newton sich Leibniz gegenüber mehr als schäbig benommen hatte.

## Behandlung und Wiedernutzung kommunaler Abwässer – Das Braunschweiger Modell –\*

MÜFIT BAHADIR

TU Braunschweig, Institut für Ökologische und Nachhaltige Chemie  
Hagenring 30, D-38106 Braunschweig, E-Mail: m.bahadir@tu-braunschweig.de

### Zusammenfassung

Der Zugang zu sauberem Trinkwasser und die umwelt- und gesundheitsgerechte Abwasserbehandlung gehören zu Schlüsselfaktoren der Nachhaltigen Entwicklung im 21sten Jahrhundert. Ein Zehntel der Weltbevölkerung hat keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser und etwa ein Drittel keine sanitäre Basisversorgung. Die Wasser- und Sanitärversorgung ist eine Grundvoraussetzung für die nachhaltige Entwicklung weltweit. Wegen der Knappheit und der Verschmutzung von Wasserressourcen in weiten Teilen der Welt kommt der Behandlung und Wiedernutzung von kommunalen Abwässern eine eminente Bedeutung zu. Braunschweig und Wolfsburg sind bundesweit die letzten beiden Regionen, in denen dieses Konzept noch zum Einsatz kommt. Die kommunalen Abwässer werden geklärt und zur Bewässerung in der Landwirtschaft bzw. zur Grundwasseranreicherung wiederverwendet. Um empfindliche Ökosysteme zu schützen, wird der Gesamtprozess im Hinblick auf Nährstoffe und Schadstoffe analytisch streng überwacht. Durch die Beteiligung der landwirtschaftlichen Nutzer im Abwasserverband werden die Interessen der Bauern im Hinblick auf Versorgung mit Wasser und Nährstoffen gewahrt. Mit diesem System besteht in Braunschweig ein „*Best Practice*“ Modell, das geeignet ist, auch in Entwicklungs- und Schwellenländern in Trockengebieten z.B. des Mittleren Ostens und Nordafrikas zum Einsatz zu kommen. Im Rahmen von mehreren Projekten zur Entwicklungszusammenarbeit und zur Transformationspartnerschaft wird das „*Braunschweiger Modell*“ von Wissenschaftlern der TU Braunschweig weltweit zur „*Capacity Building*“ exportiert.

---

\* Der Vortrag wurde am 08.04.2016 in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

## Einleitung

Die Verfügbarkeit von Wasser, der Zugang zu sauberem Trinkwasser und die umwelt- und gesundheitsgerechte Behandlung von Abwässern gehören zu Schlüsselfaktoren der Nachhaltigen Entwicklung im 21sten Jahrhundert. Ein Zehntel der Weltbevölkerung hat keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser und etwa ein Drittel keine sanitäre Basisversorgung. Die Wasser- und Sanitärversorgung ist eine Grundvoraussetzung für die nachhaltige Entwicklung weltweit und ein wichtiges Arbeitsfeld der deutschen Entwicklungszusammenarbeit [1]. Auswirkungen der mangelnden Umwelthygiene zeigen sich nicht zuletzt an großen Epidemien auf der Welt, wie z.B. dem Ebola Ausbruch in 2014/2015 in Afrika [2], der neben medizinischen, auch und gerade mit hygienischen Maßnahmen wie der Verteilung eines Stücks Seife pro Haushalt bekämpft wurde.

Die Entwicklungszusammenarbeit mit Hochschulen in Ländern der Dritten Welt wird für das BMZ vom DAAD im Rahmen seiner Programmarbeit umgesetzt. Im Zusammenhang mit der *„Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder zur Förderung von Wissenschaft und Forschung an deutschen Hochschulen“* in den drei Förderlinien *„Graduiertenschulen, Exzellenzcluster und Zukunftskonzepte“* in 2005/2006 wurde vom DAAD das Programm *„Hochschulexzellenz in der Entwicklungszusammenarbeit – Exceed“* 2009 ins Leben gerufen. *„Ziel der Initiative ist es, die Hochschulen in den Bereichen Lehre, Forschung und Dienstleistung zu stärken, um gemeinsam wirkungsvolle und innovative Beiträge zur Verwirklichung der Entwicklungsziele der Vereinten Nationen zu leisten. In den folgenden fünf Jahren entstanden mit finanzieller Unterstützung des Bundesministeriums für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) fünf weltweit kooperierende Netzwerke zu den folgenden thematischen Schwerpunkten: (i) Nachhaltige Wasserwirtschaft; (ii) Ressourcenmanagement, (iii) Menschenwürdige Arbeit, (iv) Ernährungssicherung, und (v) Medizin“* [3].

Der Antrag der TU Braunschweig *„EXCEED – Excellence Center for Development Cooperation – Sustainable Water Management in Developing Countries“* ist eines dieser fünf Projekte, die in einem zweistufigen, mit der Exzellenzinitiative vergleichbaren Bewerbungsverfahren ausgewählt und gefördert wurden. Ursprünglich dem MDG 7/C gewidmet (*„Bis 2015 den Anteil der Menschen um die Hälfte senken, die keinen nachhaltigen Zugang zu einwandfreiem Trinkwasser und grundlegenden sanitären Einrichtungen haben“*), wurden im Zuge der Evaluation des DAAD Programms und der Verlängerung der beteiligten fünf Projekte in Braunschweig, Kassel, Köln, Hohenheim und München um weitere fünf Jahre nunmehr die SDGs (*Sustainable Development Goals*), an der TU Braunschweig insbesondere das SDG 6 zugrunde gelegt [1]. Das Braunschweiger Exceed Projekt ist ein Netzwerk von über 30 Hochschulen in 18 Ländern auf vier Kontinenten, das von der TU Braunschweig geleitet und koordiniert wird.

Seit Beginn des so genannten Arabischen Frühlings mit der erfolgreichen „*Jasmin Revolution*“ in Tunesien in 2011 „*begleitet Deutschland im Rahmen der Transformationspartnerschaft die politischen Umbrüche in der arabischen Region. Die Hochschulausbildung sowie die akademische Kooperation nehmen in Zeiten gesellschaftlichen und politischen Wandels eine wichtige Rolle ein. Neben der Aufgabe der Hochschulen, akademische Ausbildungsmöglichkeiten zu schaffen und die wissenschaftliche Innovationsfähigkeit der Länder zu fördern, gelten diese auch als Raum gesellschaftlicher Aushandlung und Weichenstellung.*“ [4] Mit Fördermitteln des Auswärtigen Amtes wurde vom DAAD das Programm „*Deutsch-Arabische Transformationspartnerschaft*“ aufgelegt, um in der „*Zusammenarbeit zwischen deutschen und arabischen Hochschulen ... besonders die Modernisierung der Lehre, den Strukturausbau in Forschung und Management sowie die Verbesserung der Beschäftigungsfähigkeit der Absolventen an den arabischen Partnerhochschulen in den Mittelpunkt der Kooperationsprojekte*“ zu stellen.

Die Länder des Arabischen Frühlings liegen sämtlich in einer der trockensten Regionen der Erde (MENA - Middle East & North Africa). Die Knappheit an Süßwasserreserven ist ihnen gemeinsam, die zu Versorgungsengpässen und Verlust an Arbeitsplätzen in der Landwirtschaft führt, den traditionell stärksten Beschäftigungsfeldern in diesen Ländern. Das war ursprünglich auch der Ausgangspunkt für die Jasmin Revolution in Tunesien. Für die TU Braunschweig bot sich mit dieser Förderlinie des DAAD die Chance, die im Rahmen des Exceed Projekts erworbene Expertise für die Transformationspartnerschaft mit zwei Hochschulen und einem Forschungszentrum in Tunis und Sousse, der Partnerstadt von Braunschweig, mit dem Titel „*EMPOWER Tunisia – Emerging Pollutants in Water and Wastewater*“ einzusetzen, durch den Dialog von Wissenschaftlern und Studierenden aus Nord und Süd zur gesellschaftspolitischen Entwicklung an Hochschulen, und durch die Umsetzung der wissenschaftlichen Projektziele zur Verbesserung der Wasserverfügbarkeit und der Umweltqualität beizutragen.

Diese umwelt- und wasserbezogenen Netzwerke arbeiten mehrheitlich in einem Umfeld, wo bereits andere, z.T. breiter aufgestellte, wissenschaftliche Netzwerke tätig sind. Zu ihnen gehört „*MESAEP – Mediterranean Scientific Association of Environmental Protection*“, das 1979 von Gastwissenschaftlern aus dem Mittelmeer Raum (Südeuropa und MENA) an der Gesellschaft für Strahlen und Umweltforschung München, (heute: Helmholtz Zentrum für Umwelt und Gesundheit) gegründet wurde und seit dieser Zeit sich mit Fragen des Umweltschutzes und des nachhaltigen Ressourcenmanagements im Mittelmeer Raum und darüber hinaus beschäftigt [5].

Somit war es naheliegend, diese drei Netzwerke für eine engere Zusammenarbeit zu gewinnen und aus den thematischen sowie z.T. personellen Überschneidungen (wie z.B. in der Person der Projektleitung und des Autors dieses Artikels) Synergien freizusetzen. Ein zentrales Thema hierbei ist die nachhaltige kaskadische Nutzung von knappen Süßwasserressourcen unter Beachtung der Umwelt- und

Gesundheitsaspekte. Das „*Braunschweiger Modell*“ der Abwasserbehandlung und Verwertung in der Landwirtschaft dient dabei als ein „*Best Practice*“ Beispiel und überzeugt insbesondere durch die akkurate Beachtung des Umwelt- und Gesundheitsschutzes und – für den „Export“ des Modells in Entwicklungs- und Schwellenländer nicht unwichtig – durch den Einsatz in unserer eigenen Region.

Im Folgenden wird das „*Braunschweiger Modell*“ der Abwasserbehandlung und Verwertung in der Landwirtschaft vorgestellt und die Maßnahmen erläutert, die zum Erfolg dieses Modells beitragen.

### **Entwicklung der Abwasserbehandlung und Verwertung in Braunschweig**

Die geregelte Abwasserentsorgung begann in Braunschweig im Jahre 1894 mit der Inbetriebnahme der ersten Rieselfelder, wie dies auch an anderen Orten in Deutschland praktiziert wurde, z.B. in Berlin Marienfelde seit 1874. Bei der Bodenpassage wurden die Abwässer filtriert und durch Bodenbakterien bis zu einem Grad gereinigt. Große Umwelt- und Geruchsprobleme waren typischer Weise die Folgen. In späteren Jahren wurden die kommunalen Abwässer der Stadt Braunschweig auch für die Bewässerung in der Landwirtschaft auf sandigen Böden eingesetzt. 1954 wurde der Abwasserverband gegründet, der für die Verteilung des Wassers in der Landwirtschaft zuständig war. 1955 bis 1966 wurden die vier Sickerfelder auf etwa 3.000 ha erweitert. Zur gleichen Zeit begann die Feldbewässerung durch Beregnungsanlagen des mechanisch vorgeklärten Abwassers. Dies führte naturgemäß erst recht zur Geruchsbelastung im Norden der Stadt. Um diese zu beseitigen, wurden in der Zeit 1979-1991 in mehreren Ausbaustufen die neue vollbiologische Kläranlage errichtet und die Bewässerungsfelder modifiziert. Schließlich wurde im Jahre 2000 die Schlammfaulung installiert, um aus dem organischen Inhalt des Abwassers Energie (Biogas) zu gewinnen, die zu einem großen Anteil den Eigenenergiebedarf der Kläranlage deckt (ca. 85%).

Heute besitzt die Abwasserkläranlage Gut Steinhof im Norden Braunschweigs eine Kapazität von 385.000 Einwohnergleichwerten. Sie dient nicht nur der Bevölkerung Braunschweigs, sondern auch den umliegenden Kommunen, die im Abwasserverband organisiert sind, sowie den Gewerbe- und Industriebetrieben, die der Indirekteinleiter-Verordnung unterliegen, d.h. ihre Abwässer nicht selbst endreinigen dürfen, sondern über die städtische Kanalisation entsorgen müssen. Die Kläranlage besitzt eine mechanische Vorreinigung, biologische Behandlung, Nährstoff Entnahme und Schlammfaulung. Die täglich behandelte Abwassermenge beträgt 60.000 m<sup>3</sup>. In Tabelle 1 sind einige Zahlen und Fakten zur Abwasserbehandlung in Braunschweig wiedergegeben.

Das Gesamtkonzept der Abwasserverwertung ist in den Abbildungen 1 und 2 dargestellt.



Tab. 1: Zahlen und Fakten der Abwasserbehandlung in Braunschweig.

Bevölkerungszahl im Einzugsgebiet	ca. 280.000
Gesamtlänge der Kanalisation	1.378 km
Länge der Abwasser Kanalisation	561 km
Länge der Regenwasser Kanalisation	676 km
Länge der Mischwasser Kanalisation	76 km
Länge der Druckleitungen	65 km
Anzahl der Pumpstationen	95
Anzahl der Regenwasser Rückhaltebecken	55

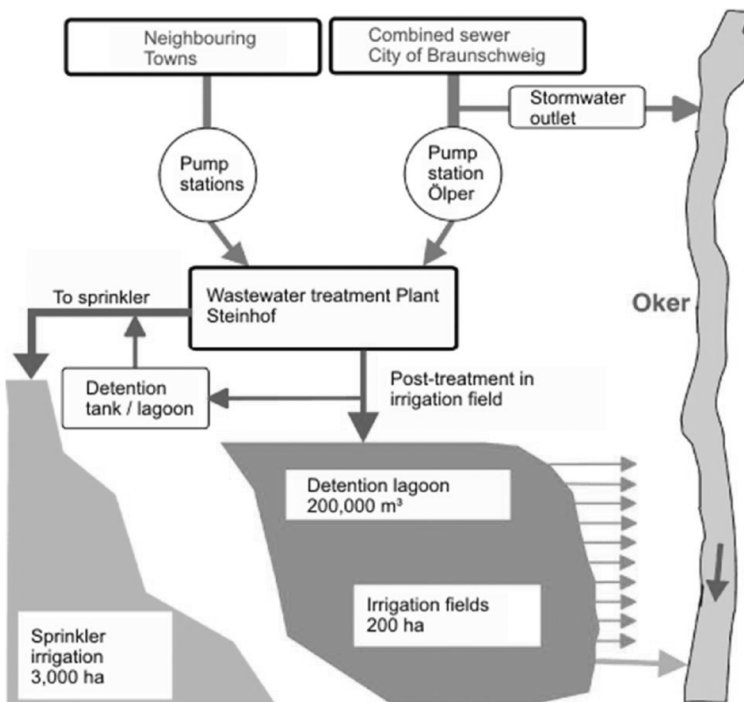


Abb. 1: Abwasserkonzept in Braunschweig.

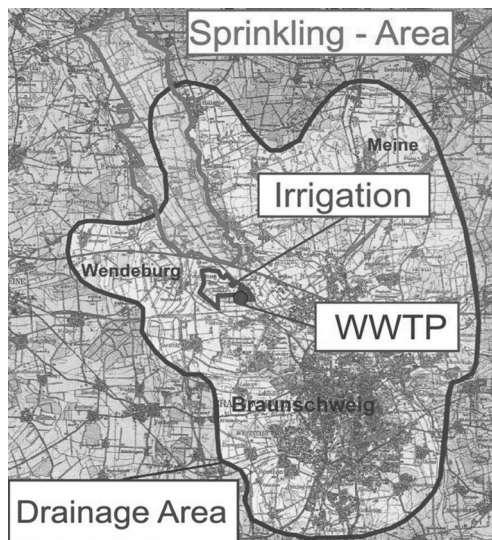


Abb. 2: Generalplan des Abwasserverbands.

### **Wasserbedarf und Nutzen der Abwasserverwertung in der Landwirtschaft**

Obwohl Deutschland zu wasserreichen Ländern der Erde gehört, sind auch hier regionale und jahreszeitliche Engpässe dokumentiert. Die landwirtschaftlichen Flächen nördlich der Stadt Braunschweig haben als Sandböden einen vergleichsweise hohen Wasserbedarf. Anhand der Wasserbilanz z.B. des Jahres 2006 wird dies besonders deutlich. In der Vegetationsperiode übersteigt die Evaporation deutlich die Präzipitation bei gleichzeitig niedrigem Wasserhaltevermögen der Sandböden, so dass die Landwirte zusätzlich beregnen müssen (Abb. 3). Auf diesen Flächen werden die in Tabelle 2 gezeigten Pflanzen angebaut (Tab. 2).

Auf etwa 38% der Anbauflächen auf dem Gebiet des Abwasserverbands werden Energiepflanzen für die Biogas Produktion angebaut. Diese werden in Hillerse zum Biogas fermentiert. Die Eckdaten der Biogas Verwertung sind wie folgt:

- Gesamtkapazität 2,5 MW<sub>el</sub>
- 2x 1 MW<sub>el</sub> Anlagen in Ölper,
- 1x 0,5 MW<sub>el</sub> in Hillerse (genutzte Abwärme zum Betrieb der Biogas Fermenter),
- 29 km Gas Pipelines von Hillerse zum Kraftwerk in Ölper.

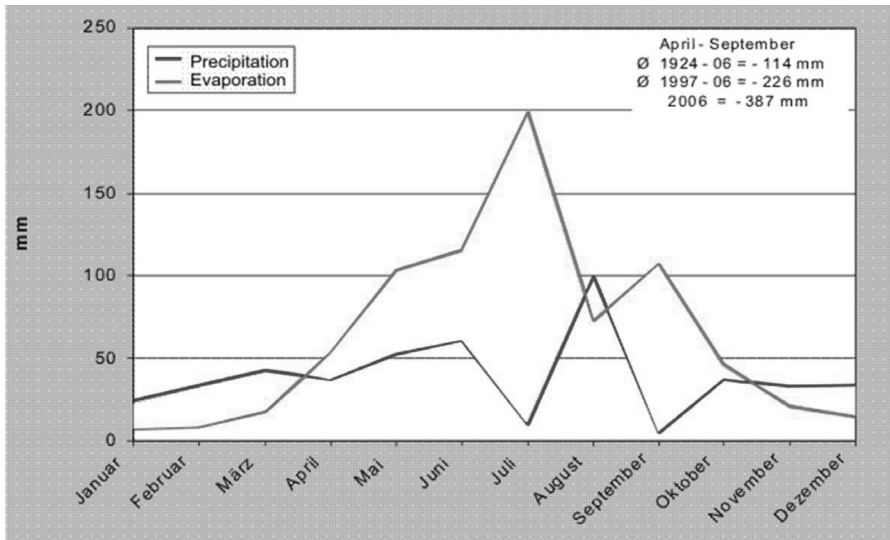


Abb. 3: Wasserbilanz in Braunschweig 2006.

Tab. 2: Anbau von Feldfrüchten auf Abwasser verregneten Feldern

	1950 [%]	1970 [%]	1990 [%]	2007 [%]
Getreide	42	39	60	30
Kartoffeln	26	20	6	6
Zuckerrüben	6	16	25	19
Mais	0	2	2	38
Andere	26	23	7	7

### Bedeutung des Abwassers und der Inhaltsstoffe für den Ressourcenschutz

Im Gut Steinhof werden jährlich 21 Mio. m<sup>3</sup> Abwasser behandelt. Hiervon gehen 15 Mio. m<sup>3</sup>/a in die Verregnung und 6 Mio. m<sup>3</sup>/a auf die Rieselfelder. Der Bedarf der Feldfrüchte im Verregnungsgebiet beträgt ca. 100 mm auf 3.000 ha Anbaufläche (s. Abb. 3). Dies entspricht einem Anteil von 3 Mio. m<sup>3</sup>/a der verregneten

15 Mio. m<sup>3</sup>/a, so dass 12 Mio. m<sup>3</sup>/a zur Grundwasseranreicherung durch den Boden perkolieren. Dieses Volumen entspricht etwa dem Trinkwasserbedarf im Einzugsgebiet des Abwasserverbandes Braunschweig.

Während der Abwasserbehandlung werden etwa 6.800 t Trockensubstanz pro Jahr (TS/a) an Klärschlamm im Überschuss gebildet. Dieser Klärschlamm wird zunächst dem Abwasser entnommen, in der Klärschlammfäulung fermentiert und Biogas produziert, und danach als ausgefauter Schlamm wieder dem gereinigten Abwasser als Träger der biologisch gebundenen Nährstoffe zugesetzt. Ein gewisser Anteil (insbesondere in der vegetationsarmen Winterzeit) des ausgefauten Schlammes wird gelagert, um im folgenden Frühjahr dem Abwasser wieder zugesetzt oder/und anderswo in der Landwirtschaft verwertet zu werden. Die Schlamm Bilanz sieht danach wie folgt aus:

– Primär- und Überschuss-Schlamm	6.800 t TS/a
– Massenverlust durch Biogasbildung	2.050 t TS/a
– Anaerob ausgefauter Schlamm	4.750 t TS/a
(hiervon ~ 60% verregnet im Einzugsgebiet	2.750 t TS/a)
(hiervon ~ 40% verwertet anderen Orts	2.000 t TS/a)

Der ausgefauter Schlamm ist der wesentliche Nährstoffträger aus dem Klärprozess. Die essentiellen Makro- und Mikronährstoffe und Spurenelemente werden an die Biomasse des Schlammes gebunden bzw. bei der pH Einstellung im Fermenter zugesetzt und verbleiben im ausgefauten Schlamm. Die Nährstoffgehalte und den Bedarf in der Landwirtschaft vergleicht die Tabelle 3.

## Maßnahmen für Boden- und Grundwasserschutz

Kommunale Abwässer kommen nicht nur aus Haushalten, sondern auch von Gewerbe- und Industriebetrieben, die keine eigenen Kläranlagen betreiben, sondern in die öffentliche Kanalisation einleiten. Hinzu kommt der Regenwasserabfluss mit möglichen zahlreichen Schadstoffeinträgen von Boden- und Straßenoberflächen, die das Abwasser zusätzlich belasten können. Die Verwertung von Abwässern nach deren Reinigung muss also dafür Sorge tragen, dass die Schadstoffe nicht in die Kläranlage gelangen bzw. beim Klärprozess eliminiert werden. Die europäischen Gesetzgeber haben hierfür Abwasser-Verordnungen erlassen, die die Schadstoffe aus Gewässern fernhalten sollen. Im Bereich der Kommunalen Abwässer sind die so genannten „Indirekteinleiter-Verordnungen“ besonders wichtig. Indirekt Einleiter sind alle Abwassererzeuger, die ihre Abwässer nicht direkt in die Umwelt abgeben dürfen, sondern diese erst über eine öffentliche Kanalisation und Abwasserreinigungsanlage entsorgen müssen, wie alle privaten Haushalte. Obwohl bundesgesetzlich geregelt, werden die Indirekt-

Tab. 3: Nährstoffgehalte im ausgefaulten Schlamm und Bedarf in der Landwirtschaft (kg/ha).

	Gehalt	Bedarf
Ammonium, Nitrat	50	140
Phosphate ( $P_2O_5$ )	69	70
Kalium ( $K_2O$ )	78	130
Schwefel (S)	105	25
Magnesium ( $MgO$ )	38	45
Calcium ( $CaO$ )	318	380
Organische Masse	640	-
Kompost Äquivalent	2.300	-

einleiter-Verordnungen auf Länderebene und schließlich auf kommunaler Ebene erlassen und überwacht. Tabelle 4 zeigt die Indirekteinleiter-Verordnung der Stadt Braunschweig.

Diese Grenzwerte müssen natürlich auch überwacht werden, damit das Abwasser wenig verschmutzt in die Kläranlage gelangt, um dort so weit gereinigt zu werden, dass die Grenzwerte für die Abgabe der behandelten Abwässer in die Umwelt eingehalten werden können. Zu diesem Zweck werden in der Stadt Braunschweig mehr als 400 Forschungs- und Gewerbebetriebe überwacht, u.a. Forschungsinstitutionen, Krankenhäuser, Werkstätten und Tankstellen, Druckereien, Lebensmittelproduzenten, Glasindustrie, Metallindustrie u.a.m. Neben regelmäßig durchgeführten Abwasseruntersuchungen an den Übergabestellen dieser Betriebe in die öffentliche Kanalisation, bei denen man manchmal nur zufällig auf Grenzwertüberschreitungen aufmerksam wird, werden auch Langzeit-Passivsammler an Knotenpunkten in der Kanalisation eingesetzt. Diese sind acht-armige Plastikstreifen als Kulturmedium, die auf dem Abwasser schwimmen und auf deren Oberflächen sich ein Biofilm ausbildet. Bei regelmäßiger Entnahme des Biofilms werden die darauf adsorbierten Schadstoffe miterfasst und geben ein integrales Abbild der Abwasserfrachten während der Sammelperiode von einigen Wochen (Abb. 4). Seit der Einführung der routinemäßigen Abwasseruntersuchungen und später der Biofilm-Untersuchungen in der städtischen Kanalisation gingen die Schadstofffrachten im Abwasser und damit im Klärschlamm signifikant zurück, wie dies am Beispiel der Cadmium-

Tab. 4: Einige Grenzwerte der Indirekteinleiter-Verordnung der Stadt Braunschweig.

Kationen	mg/L	Organische Verbindungen	mg/L
Hg	0,05	POX / AOX	0,5 / 1,0
Cd	0,1	BTXE + Styrol	2,0
Cr(VI)	0,2	HC Index ( $\Sigma C_m H_n$ )	20
As	0,3	Phenol Index	100
Ag, Sb	0,5	PAH	0,05
$\Sigma$ Cr, Cu, Ni, Pb	1,0	Öle und Fette	300
Ba, Co, Sn	2,0	Farbstoffe	< sichtbare Konzentration
Zn	5,0		
Anionen / Elemente		Toxizität	< Schlamm Toxizität
freies Chlor	0,5		
freie / gesamte Cyanide	0,2 / 20		
Sulfide	2,0		
$\Sigma$ P	50		



Abb. 4: Biofilm Probenahme auf Passivsammler aus der Kanalisation in der Beethovenstraße.

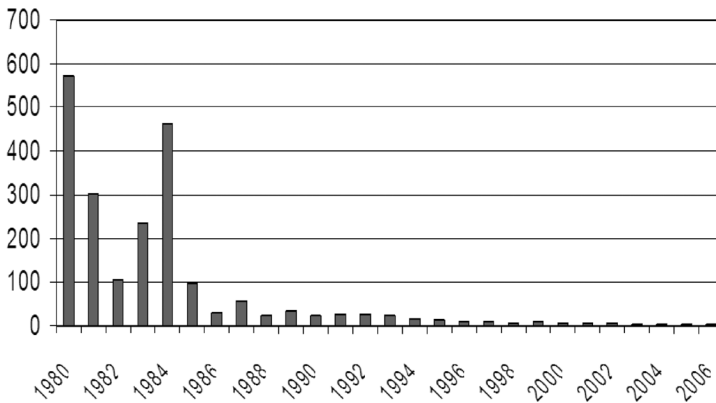


Abb. 5: Cadmium Belastung im Faulschlamm – Gut Steinhof.

Belastung des Faulschlammes deutlich wird (Abb. 5). Gleiches gilt für weitere Schwermetalle im Abwasser und Schlamm (hier nicht gezeigt).

## Boden- und Grundwasseruntersuchungen im Verregnungsgebiet

Zur Überwachung der Boden- und Grundwasserqualität im Verregnungsgebiet werden Feld-Lysimeter und Grundwasserbrunnen betrieben. Diese sind in einem bestimmten Abschnitt entlang des Grundwasserfließwegs angelegt (Abb. 6). In unterschiedlichen Tiefen werden Bodenproben genommen, das Perkulationswasser gesammelt und auf verschiedene Schadstoffe untersucht (Abb. 7). In den letzten Jahren stehen Medikamentenrückstände, die in der Kläranlage nicht vollständig eliminiert werden, besonders im Fokus (Abb. 8). Da die Konzentrationen von Pharmazeutika in Oberflächenwässern inzwischen weltweit deutlich zunehmen und in Einzelfällen ökotoxische Grenzwerte erreicht und überschritten haben, so dass deutliche biologische Effekte auf aquatische und amphibische Organismen beobachtet werden, rechnet man bald mit neuen Regeln für den Bau und Betrieb von Abwasserkläranlagen zur Nachbehandlung von geklärten Abwässern mit Ozon und/oder UV-Bestrahlung, um die organischen Mikroschadstoffe ebenfalls zu eliminieren.

Die Überwachung der Wasser- und Bodenqualität erfolgt durch wöchentliche Analysen des Kläranlagenablaufs. Darüber hinaus werden sechs Drainage-Auslässe auf einem 500 ha großen Areal und drei von 33 Kontrollbrunnen vier Mal jährlich auf nachfolgende Abwasserparameter untersucht: pH, EC, DO, TOC,



CSB, BSB<sub>5</sub>, NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N, N<sub>org</sub>, P<sub>total</sub>. Dabei werden etwa 200 t/a Phosphor nahezu vollständig in den Nährstoffkreislauf zurückgeführt, so dass nur wenig Phosphor nachgedüngt werden muss. Hierdurch werden knappe und sich bald erschöpfende Weltphosphor-Reserven ebenfalls geschont.

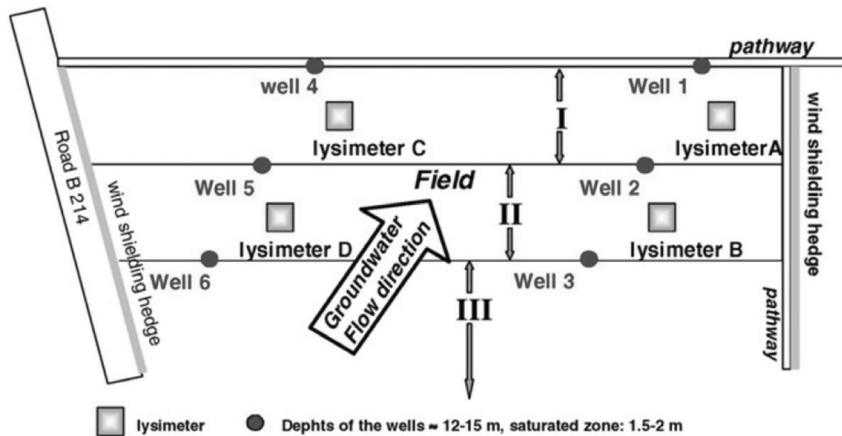


Abb. 6: Boden- und Grundwasserüberwachung im Verregnungsgebiet.

## Field Lysimeter

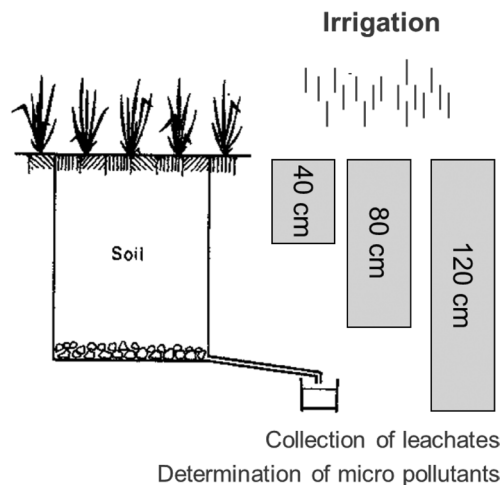


Abb. 7: Feld-Lysimeter im Verregnungsgebiet.

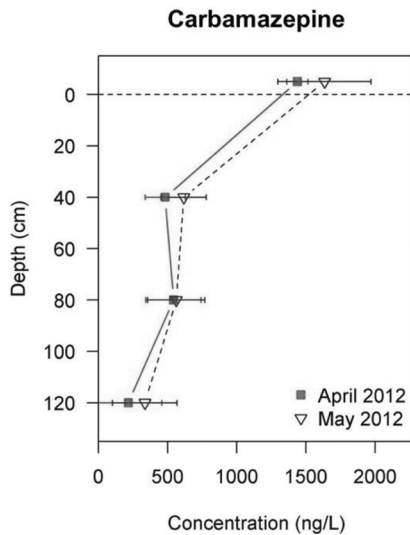


Abb. 8: Carbamazepin Rückstände im Boden.

Ein interessantes Bild ergibt sich für die Wiedernutzung des Stickstoffs im Abwasser (Abb. 9). 40% des Stickstoffs im Abwasser, vornehmlich als Nitrat, wird innerhalb des Abwasserverbands und 10% außerhalb des Verbandsgebiets ver-

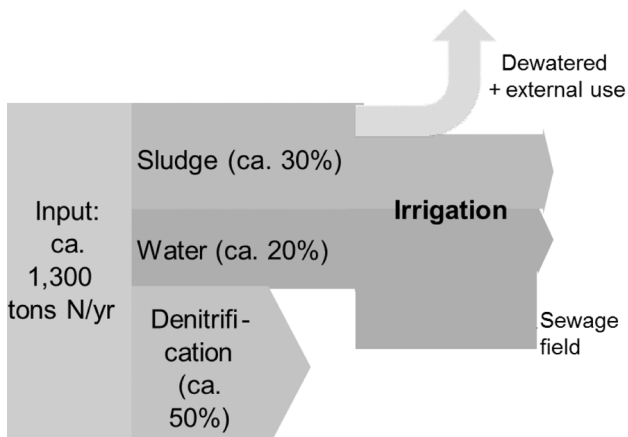


Abb. 9: Stickstoff Ausnutzung bei der Abwasserbehandlung.

wertet und trägt somit nicht zur Überdüngung der Umwelt und Eutrophierung der Gewässer bei. Etwa 50% des Stickstoffs im Abwasser gehen durch Denitrifikation bei der biologischen Abwasserbehandlung verloren. Da Nitrat im Boden leicht ausgewaschen wird, müssen die Landwirte dennoch zusätzlich Nitrat düngen. Bei einem Preis von ca. 0,5-1 Euro für 1 kg Stickstoffdünger sind die Ersparnisse durch Stickstoff im Abwasser beträchtlich. 1.300 t N-Input durch die Abwasserverwertung in Braunschweig ist ausreichend für ca. 6.000 bis 8.000 ha landwirtschaftlicher Anbaufläche. Um den Landwirten richtige Düngerempfehlung zu geben und die verfügbaren Mengen an Wasser und Nährstoffen gerecht zu verteilen, werden alljährlich ca. 12.000 Analysen des Abwassers und  $N_{min}$  Analysen im Boden sowie Düngungsversuche mit typischen Feldfrüchten in diesem Gebiet durchgeführt. Der Abwasser-Nährstoff-Energie Nexus in Braunschweig wird aus der Abb. 10 deutlich.

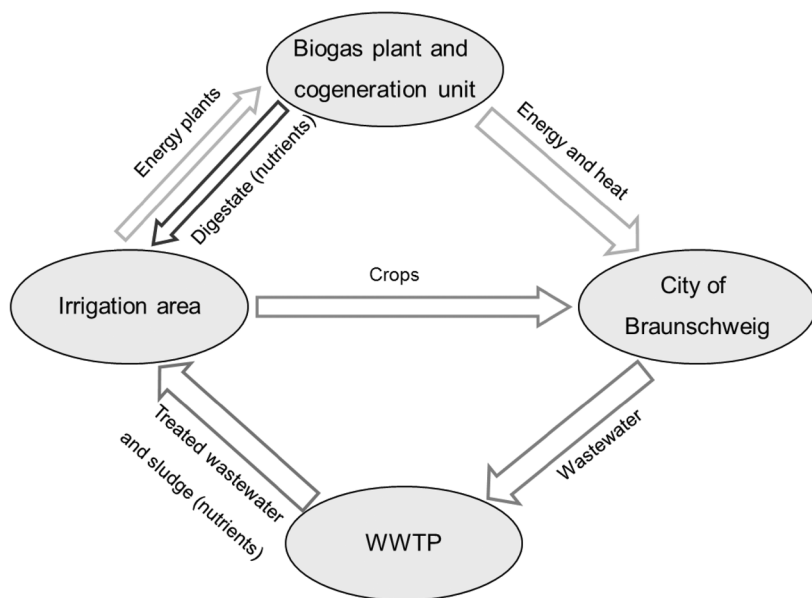


Abb. 10: Der Abwasser-Nährstoff-Energie Nexus in Braunschweig.

## Schlussfolgerungen

Die Behandlung und kaskadische Weiternutzung von kommunalen Abwässern weist eine Reihe von Vorteilen auf, die am Beispiel der Stadt und des Abwasserverbands Braunschweig deutlich zu Tage treten. Sie sind sowohl auf Seiten

der Kommune, als staatliche Behörde verantwortlich für die Abwasserentsorgung, als auch der Abwasser-Nutzer, hier die Landwirtschaft sichtbar. Die Umwelt profitiert davon gleich in mehrfacher Hinsicht, nämlich im Hinblick auf die Vermeidung von Schadstoffeinträgen in Böden und Grundwasser, Ressourcenschonung, Vermeidung von Grundwasserentnahme für die landwirtschaftliche Bewässerung und Förderung des Konzepts der Grundwasseranreicherung. In diesem Sinne stellt das „*Braunschweiger Modell*“ der Abwasserbehandlung und Verwertung ein „*Best Practice*“ Beispiel für die Nachhaltige Wasserwirtschaft durch Mehrfachnutzung von knappen Süßwasser Ressourcen und der Wiedergewinnung von wertvollen Inhaltsstoffen aus dem Abwasser dar.

Aus diesen Erfahrungen heraus wird das „*Braunschweiger Modell*“ im Rahmen von internationalen Kooperationen der TU Braunschweig wie Tagungen, Projekte und Netzwerke (Exceed SWM, EMPOWER Tunisia und MESAEP) den internationalen Partnern erfolgreich und überzeugend vorgestellt. Verschiedene Aspekte dieses Konzepts und des Monitorings (z.B. durch Passivsammler für Biofilm) werden in den Partnerländern bereits erfolgreich umgesetzt.

## Danksagung

Der Autor dankt der Stadtentwässerung und dem Abwasserverband Braunschweig für die Bereitstellung der hier vorgestellten Daten. Dem DAAD gilt besonderer Dank für die finanzielle Förderung der Projekte Exceed SWM und EMPOWER Tunisia, in deren Rahmen der *know how* Transfer aus Braunschweig und *Capacity Building* in den betreffenden Ländern durchgeführt werden konnte.

## Literaturverzeichnis

- [1] Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (2017): Die globalen Ziele für nachhaltige Entwicklung, Ziel 6: Verfügbarkeit und nachhaltige Bewirtschaftung von Wasser und Sanitärversorgung für alle gewährleisten. [http://www.bmz.de/de/ministerium/ziele/2030\\_agenda/17\\_ziele/ziel\\_006\\_wasser/index.html](http://www.bmz.de/de/ministerium/ziele/2030_agenda/17_ziele/ziel_006_wasser/index.html) (zuletzt nachgeschlagen am 30.01.2017)
- [2] Robert Koch Institut (2016): Informationen zum Ebolafieber-Ausbruch in Westafrika 2014/2015, (Stand 30.03.2016) [http://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/E/Ebola/Kurzinformation\\_Ebola\\_in\\_Westafrika.html](http://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/E/Ebola/Kurzinformation_Ebola_in_Westafrika.html) (zuletzt nachgeschlagen am 30.01.2017)
- [3] DAAD (2016): Hochschulexzellenz in der Entwicklungszusammenarbeit – Exceed, <https://www.daad.de/der-daad/unsere-aufgaben/entwicklungszusammenarbeit/foerderprogramme/hochschulen/infos/de/43947-hochschulexzellenz-in-der-entwicklungszusammenarbeit-exceed/> (zuletzt nachgeschlagen am 30.01.2017)

- [4] DAAD (2016): Deutsch-Arabische Transformationspartnerschaft. <https://www.daad.de/hochschulen/programme-regional/arabischer-raum/de/27682-deutsch-arabische-transformationspartnerschaft/> (zuletzt nachgeschlagen am 30.01.2017)
- [5] MESAEP (2017): Mediterranean Scientific Association of Environmental Protection, <https://www.mesaep.org/> (zuletzt nachgeschlagen am 30.01.2017)

## Genetik metabolischer Resistenz\*

OTTO RICHTER

Institut für Geoökologie der Technischen Universität Braunschweig  
Langer Kamp 19c, D-38106 Braunschweig

Die langjährige Anwendung von Herbiziden hat bei vielen Pflanzenschutzmitteln zur Entwicklung resistenter Biotypen geführt. Dabei unterscheidet man zwei Resistenzmechanismen. Bei der Wirkortresistenz wird die Bindung des Herbizids an den Rezeptor inhibiert. Metabolische Resistenz beinhaltet die Fähigkeit eines Organismus, toxische Substanzen abzubauen, was zu einer Verschiebung von Dosis-Wirkungskurven führt. In diesem Beitrag wird die Dynamik des Zusammenspiels der Biosynthese der verzweigtkettigen Aminosäuren Isoleucin, Valin und Leucin mit dem Abbauweg für einen ALS Hemmer (Acetolactate Synthase (ALS, EC 4.2.1.16). ) anhand eines mathematische Modelles in Form von nichtlinearen Differentialgleichungen untersucht. Die ALS Kinetik wird durch einen Monod Ansatz beschrieben. Das Modell liefert typische Dosis- Wirkungskurven und ihre Verschiebung in Abhängigkeit des Aktivitätsmusters des Abbauweges für den Inhibitor. Für den Fall, dass die Enzyme des Abbauweges in zwei Modifikationen vorkommen (poor or rapid metabolizer) wird ein genetisches Modell mit drei Loci für die Enzyme des Abbauweges aufgestellt. Damit ergeben sich 27 unterschiedliche Biotypen. Von dem metabolischen Modell werden für jeden Biotyp Resistenzfaktoren ermittelt. Diese werden in ein zeitdiskretes populationsgenetisches Modell für eine annuelle Unkrautart (Ungras) implementiert. Simulationen zeigen, dass die Entwicklung resistenter Biotypen durch die Anwendung von niedrigen Anwendungsmengen des Herbizids begünstigt wird. Das Aufkommen von Resistenzen kann durch Wirkstoffwechsel und Fruchtfolgen verzögert werden.

---

\* Der Vortrag wurde am 10.06.2016 in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

## Literatur

O. RICHTER, D. LANGEMANN & R. BEFFA (2016): Genetics of metabolic resistance, *Mathematical Biosciences* **279**: 71–82

D. LANGEMANN , O. RICHTER & A. VOLLRATH (2013): Multi-gene-loci inheritance in resistance modeling, *Mathematical Biosciences* **242**: 17–24 .



# Magnetic nanoparticles as markers for biomedical analysis\*

MEINHARD SCHILLING

Institut für Elektrische Messtechnik und Grundlagen der Elektrotechnik, TU Braunschweig,  
Hans-Sommer-Straße 66, D-38106 Braunschweig, E-Mail: m.schilling@tu-bs.de

## I. Abstract

Magnetic nanoparticles are tiny magnets of the size of large molecules. These nanoparticles can be used as markers for biomedical analysis with remarkable properties. By homogenous magnetic fields they can be rotated and by gradient fields they can be steered with magnetic forces. By antibody functionalization of their surface other proteins can be coupled to the nanoparticles. This way the mobility of the nanoparticle is changed, which can be detected macroscopically by the modified response to external magnetic fields. Protein interaction can help to deliver drugs and to localize infections or inflammations for diagnostic or therapeutic purposes by magnetic particle imaging (MPI).

## II. Introduction

The human immune system is almost perfect. By far the most infections are handled without us even noticing it. On our body surface live more bacteria than we have cells in the body. Our bacteria on the inner and outer surfaces of our body amount to more than 1 kg. But within the blood of a healthy human one can find not a single bacterium, since our immune system is our best protection. So we need drugs to support the immune system and in future these drugs should find their targets by themselves.

Magnetic nanoparticles are quite perfect carriers for this purpose in the bloodstream. Their size of 10–30 nm can be as small as a larger protein molecule (hemoglobin 6 nm) and so they can pass all capillary vessels. They can transport drugs everywhere in the body. By functionalization with appropriate antibody molecules they even find their targets themselves, be it bacterial or viral surface

---

\* Der Vortrag wurde am 12.02.2016 in der Klasse für Ingenieurwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

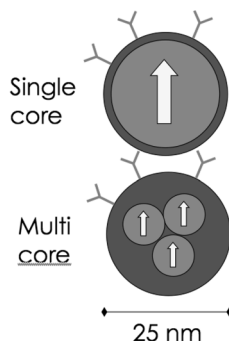


Fig. 1 Nanoparticles

proteins. Additionally, they can even be steered by a magnetic gradient field towards a tumor site. After several passages of the liver, iron-oxide magnetic nanoparticles are metabolized in the human body without problems if their concentration is low enough.

For successful and reliable operation the magnetic nanoparticles have to be throughout characterized, regarding composition, size, form, stabilization, magnetic and chemical properties. During storage these properties should not change. These requirements today are only partly fulfilled. In the chemical preparation process of magnetic nanoparticles it still is almost impossible to produce exactly the same nanoparticles in every batch. During storage, agglomeration and sedimentation can occur and the stabilizing shell for good dispersion and for functionalization can be degrading gradually. Thus, characterization has to control quality and properties again at bedside before application. Here, the methods for a comprehensive quality control of magnetic nanoparticles are reviewed and biomedical applications for magnetic nanoparticles are presented.

### III. Properties of magnetic nanoparticles

The toxicity of magnetic nanoparticles depends strongly on their core material. Iron-oxide nanoparticles are regarded mainly as non-toxic, but discussions on differences regarding their iron oxidation state still continue. Nanoparticles can be produced as single core or as multicore particles as depicted in Fig.1.

The first analysis has to ensure that the material composition of the magnetic nanoparticles for biomedical applications excludes cobalt or nickel traces, which should not be applied to mammals, since these metals cannot be metabolized. The second and third step are the determination of the size distribution and the

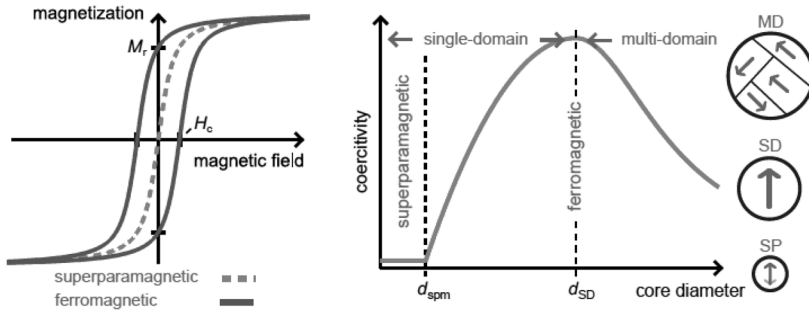


Fig. 2 (a) Dependence of the magnetization on the external magnetic field, (b) dependence of the coercivity on the nanoparticle core diameter.

concentration of magnetic nanoparticles, which are closely related. To get independent measures one often determines the size distribution, but the concentration is analyzed as equivalent iron atoms per volume of water solvent without taking the size distribution into account. The determination of the size distribution is often complicated by agglomeration and cluster formation. In reality, the dispersed nanoparticles can consist of a broad size distribution. So the characterization has to distinguish the thermal distribution governed by the Langevin equation for the thermal activation of the magnetic moment, the core size distribution, the shell thickness distribution, and the distribution of the shell functionalization. Thus a traceable characterization of size distribution, concentration, and particle properties with measurement uncertainties still is an important metrology task for the next years.

The magnetic properties of magnetic nanoparticles strongly depend on the size, as depicted in Fig. 2. In general, magnetic material exhibits magnetization characteristics as depicted in Fig. 2(a). The hysteresis loop is characterized by a coercive field  $H_c$ , which depends on the material (hard/soft magnet) by its domain wall pinning properties. The saturation magnetization  $M_s$  is reached for high external magnetic fields. In the case of hard magnets the material stays magnetized with the remanent magnetization  $M_r$ , even if the external magnetic field is reduced to zero. Large magnetic microparticles are found in a multidomain (MD) state. If the size of the magnet shrinks, the coercive field  $H_c$  shows a maximum, if only one domain wall can exist in the particle. For even smaller size the single domain (SD) nanoparticles lose their coercivity and ferromagnetic behavior and enter the region of superparamagnetism (SP). Here, a macroscopic magnetic moment is only established in external magnetic fields and no coercivity is found anymore. The still existing magnetic moment of a single nanoparticle is not aligned by crystalline or surface anisotropy in the material anymore.

The magnetic moment  $m$  of a nanoparticle is proportional to the saturation magnetization  $M_s$  and its core volume  $V_c$ .

$$m = M_s V_c$$

The saturation magnetization  $M_s$  depends on the material of the core. If the material properties are well known, the volume distribution is traceable to the distribution of the magnetic moments  $m$ . Thus, it is possible, to measure the size distribution magnetically.

In the following only superparamagnetic particles are considered, since they are small enough for biomedical applications in the human body. To measure the magnetic moment distribution the thermal influence expressed by the Langevin function has to be taken into account. Many superparamagnetic moments are not aligned in moderate external magnetic field due to their Brownian motion in the liquid environment of a solvent, most often water. But even immobilized superparamagnetic nanoparticles are not aligned in the moderate magnetic field, but can orient in other directions by the internal degree of freedom, the Néel relaxation. Only rather high external magnetic fields can orient all moments of superparamagnetic nanoparticles into the saturated state. The total energy of the magnetic moment  $m$  of an superparamagnetic nanoparticle can be described by [1]

$$E_{ges} = \underbrace{KV \sin^2 \Theta}_{\text{Internal anisotropy}} - \underbrace{mB \cos(\Theta - \Phi)}_{\text{External field}}$$

The first term describes the internal anisotropy energy by its anisotropy constant  $K$ , the core volume  $V_c$  taking into account the angle  $\Theta$  between its anisotropy axis and the direction of the external magnetic field. The second term describes the energy of the magnetic moment  $m$  in the external flux density  $B$  taking into account additionally the angle  $\Phi$  of the magnetization with respect to the anisotropy axis. For both relaxation mechanisms, Brownian and Néel relaxation, the energy landscapes are depicted in Fig. 3 with and without external magnetic flux density  $B$ . For the description of dispersed nanoparticles all energy contributions of all thermally distributed nanoparticles by the Langevin function have to be integrated over both angles  $\Theta$  and  $\Phi$ .

#### IV. Methods for the characterization of magnetic nanoparticles

Many methods can be applied to characterize magnetic nanoparticles. Due to their small size optical microscopy cannot contribute. Instead scanning electron microscopy SEM and transmission electron microscopy TEM are employed together with scanning probe microscopy AFM and MFM. The crystalline properties are analyzed by x-ray diffraction XRD. The hydrodynamic size distribution

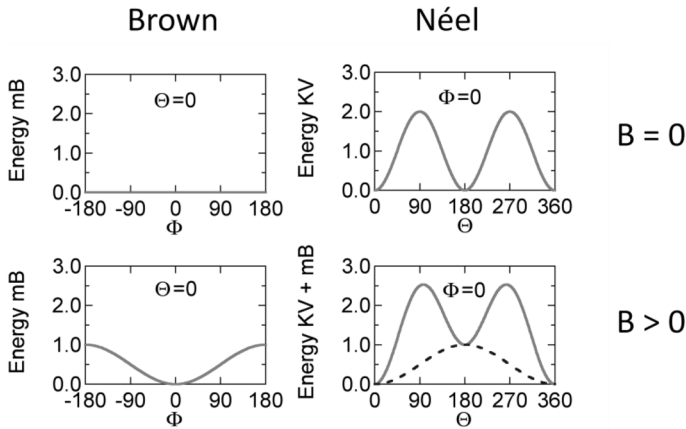


Fig. 3. Dependence of the energy distributions in Brownian and Néel relaxation with and without external magnetic field.

can be investigated by dynamic light scattering DLS and photon (cross) correlation spectrometry P(C)CS. The magnetic properties are determined by static magnetization measurements  $M(H)$  in a SQUID magnetometer. The dynamic magnetic properties are measured by ac susceptibility measurements ACS, in the magnetization and the magnetic relaxation MRX, magnetic particle spectroscopy MPS and in rotating magnetic fields RMF. All these methods are grouped together in Fig. 4. The main challenge is to obtain a consistent data set of all methods applied to a nanoparticle sample.

In several projects we developed novel instruments for the fast and precise characterization of magnetic nanoparticles. Such an instrument is the Magnetic Nanoparticle Relaxation Analyzer shown in Fig. 5, which was evaluated together with Merck KGaA, Darmstadt.

Many different procedures and recipes exist for the growth of magnetic nanoparticles in solution, i.e. co-precipitation, hydrothermal synthesis, microemulsion and thermal decomposition of iron oleate. The latter has been employed successfully in the institute and the resulting nanoparticles proved to be very well reproducible [3]. These particles have been analyzed in detail by high resolution transmission electron microscopy, as depicted in Fig. 6. The inner core consists mainly of wustite  $\text{FeO}$ , while in the outer core area  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  (magnetite) is found. For maximum saturation magnetization the oxidation process during growth of the nanoparticles has to be carefully optimized to avoid the occurrence of such oxygen deficient phases.

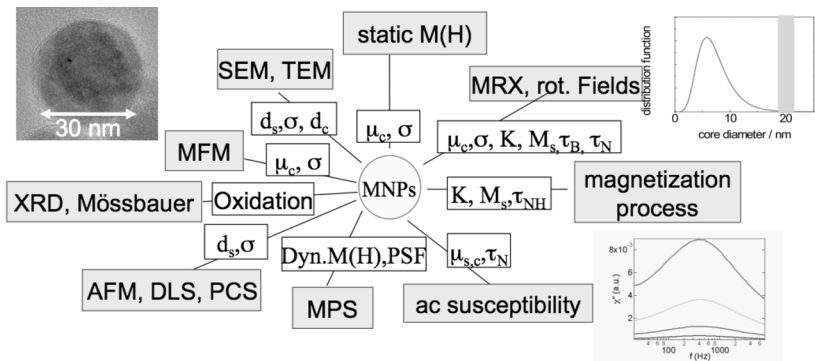


Fig. 4 Methods for the characterization of magnetic nanoparticles.

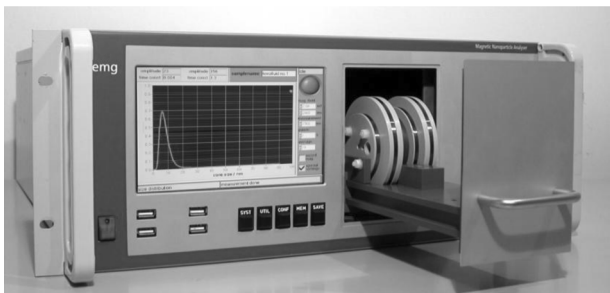


Fig. 5 MRX analyzer with coil system of high homogeneity and minimum stray field and a simple user interface with touch screen [2].

The dynamic magnetic properties are analyzed by ac susceptibility measurements (ACS) on dispersed nanoparticles and on immobilized samples from the same batch. Immobilization is easily accomplished by freeze drying. In ac susceptibility the reaction of the nanoparticles to time-dependent sinusoidal external magnetic fields is recorded and analyzed. Typical ac susceptibility measurements for multicore magnetic nanoparticles of different hydrodynamic size (increasing from FeraSpin XS to XXL) are depicted in Fig. 7. FeraSpin R particles contain a broad size distribution.

The analysis of the static  $M(H)$  SQUID magnetometer data requires a mathematical model and by assuming a bimodal distribution  $f(m)$  the magnetization  $M(H)$  can be described by [4]:

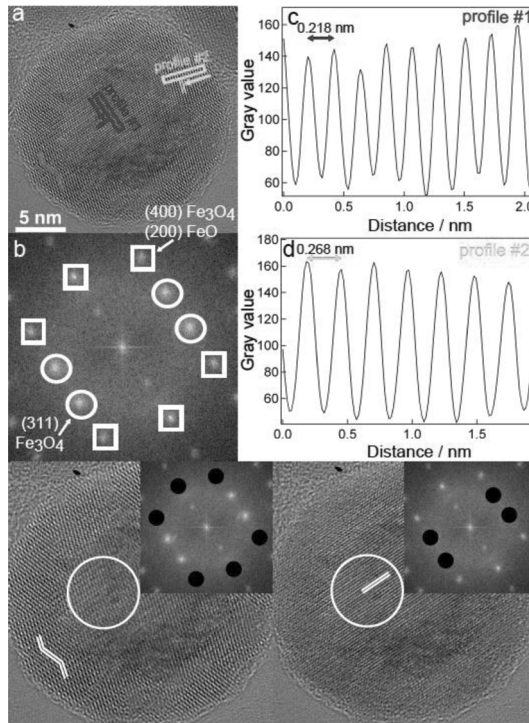


Fig. 6 Transmission electron microscopy of magnetic nanoparticles. (a) image, (b) diffraction analysis SEAD, (c,d) evaluation of lattice con-stants, (e,f) analysis of different crystalline phases in the core ( $\text{FeO}$ ) and  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  in the outer core volume [3]. The HRTEM measurements were taken in cooperation with H. Weller et al., Univ. Hamburg

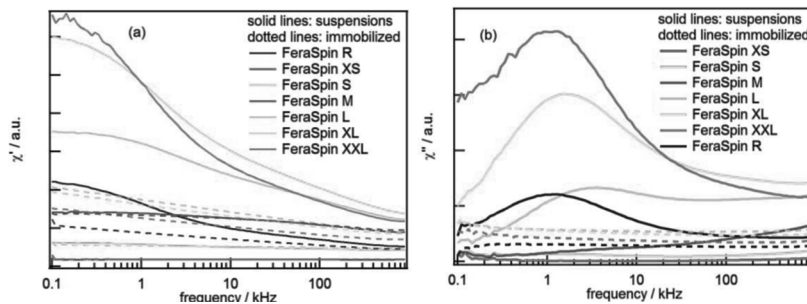


Fig. 7. AC susceptibility measurements in small signal mode ( $B_{ac} = 95 \mu\text{T}$  in frequency range from 100 Hz - 1 MHz).

$$M(H) = \Phi \cdot M_s \cdot \frac{1}{m} \cdot \int m \cdot f(m) \cdot L(H, m) dm$$

By applying a SVD algorithm [5] we verified for this model the size distribution parameters according to Fig. 8.

For larger nanoparticle diameter ac susceptibility measurements become rather time consuming, since the characteristic time constants are longer for larger particles. For such particles the measurement of the magnetic relaxation MRX is more convenient. First, the particles are magnetized in an external magnetic field, then the field is switched off and the relaxation of the nanoparticle magnetization is determined by magnetic sensors. In our set-up we use either fluxgate sensors [6] or dc-SQUID sensors [7].

The recorded MRX data of the immobilized nanoparticles are shown in Fig. 9. In such measurements the contributions of larger particles can be easily detected, since the contributing frequency range can be extended to much lower frequencies than 100 Hz. The model for the measured magnetic moment  $m_r$  in the relaxation process assumes non-interacting nanoparticles. It has to take into account the time for magnetization  $t_{\text{mag}}$ , which determines the number of aligned moments in the external magnetic field  $H$  prior to the relaxation with respect to the Néel relaxation time  $t_{\text{NH}}$  in the magnetizing field  $H$ . The Langevin function  $L(d, H, T)$  determines the influence of temperature  $T$  on the alignment of nanoparticles with diameter  $d$ . The relaxation is governed by the Néel relaxation time  $t_N$  without external field. The size distribution  $f$  (lognormal distribution) has to be taken into account as well and can be obtained from these measurements by inverting the model equation [8]:

$$m_r(t, t_{\text{mag}}, H) = M_s \int f(d, \mu, \sigma) \frac{\pi d^3}{6} L(d, H, T) \left\{ 1 - \exp \left[ -\frac{t_{\text{mag}}}{\tau_{\text{NH}}(K, d, H, T)} \right] \right\} \exp \left[ -\frac{t}{\tau_N(K, d, T)} \right] dd$$

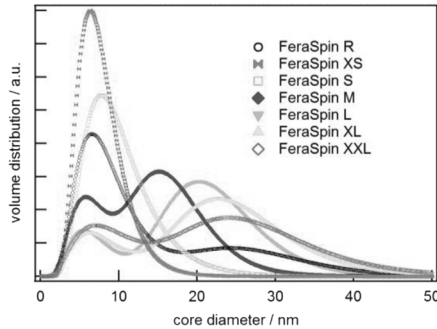


Fig. 8: Size distributions of magnetic nanoparticles with different hydrodynamic diameters.



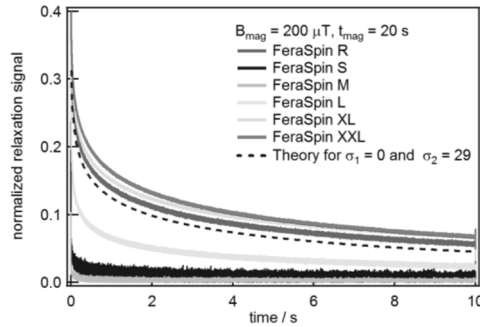


Fig. 9 MRX measurements on the same magnetic nanoparticles as in Fig. 8.

One theoretical relaxation curve is added to Fig. 9 as the dashed line for a bi-modal distribution. In samples where both Brownian and Néel relaxation take place at the same time the faster relaxation governs the experimental observed effective relaxation time as depicted in Fig. 10 with  $\tau_B = \frac{3V^* \cdot \eta}{k_B \cdot T}$ ,  $\tau_N = \tau_0 \exp\left(\frac{K \cdot V}{k_B \cdot T}\right)$  and  $\tau_{eff} = \frac{\tau_B \cdot \tau_N}{\tau_B + \tau_N}$  [9].

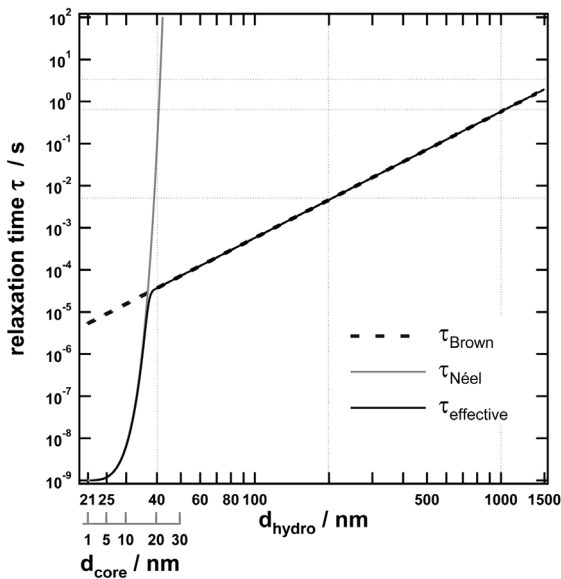


Fig. 10 Observed effective relaxation time in MRX measurements

Table 1: Possibilities to analyze and manipulate magnetic nanoparticles.

Magnetic field	Magnetic nanoparticles	Used in
Static, homogeneous	Alignment	SQUID M(H)
Switched	Relaxation	MRX Brown/Néel
Sinusoidal, low B	Alignment, Absorption	ACS ac susceptibility
2d/3d Sinusoidal, low B	Phase lag	RMF rotating fields
Sinusoidal, high B	THD	MPS Spectroscopy
Gradient	Motion	Drug delivery
Field free point	Spatial selection	Magnetic Particle Imagin
Field free point	Bound/unbound	Mobility MPI

The ACS and MRX measurements allow to determine the size distributions of magnetic nanoparticles dispersed in solution. So far water was assumed as solvent. But these methods can be extended to investigate nanoparticle interaction with the surrounding matrix characterized by the observed nanoviscosity, as depicted in Fig. 11 for  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  nanoparticles ( $d_c = 15\text{ nm}$ ) with 2.5 wt% aqueous gelatin solution together with a MRX-simulation with parameters from fits to ACS spectra [10].

In table 1 the possibilities to analyze and to manipulate magnetic nanoparticles by magnetic fields are summarized.

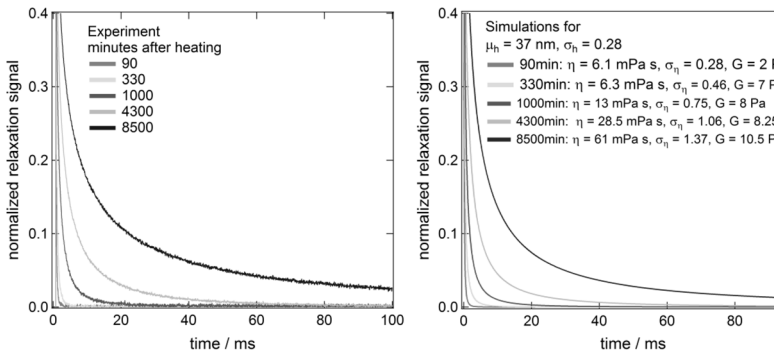


Fig. 11. Determination of the nanoviscosity of gelatine after heating and fast cooling to 23 °C from the MRX measurements during gelation.

## V. Medical applications of magnetic nanoparticles

The biomedical application areas of magnetic nanoparticles are widespread. The nanoparticles can be used as markers in immunoassays and in binding-assays like in biochips based on DNA or RNA detection. They are often used as magnetic beads for separation of proteins. The demonstrated micro- and nanoviscosity measurements are used to characterize gel formation and dissolution as required for drug delivery. Functionalized nanoparticles can themselves carry drugs and be steered by external fields to the application site inside the body. The absorption of ac magnetic fields can be used to locally heat the volume around the nanoparticles in hyperthermia to drive tumor cells into apoptosis. For every mentioned application nanoparticles with special magnetic properties are required and for in-vivo applications long term stable nanoparticles without agglomeration or sedimentation are required.

A very powerful new medical imaging modality is the so called magnetic particle imaging MPI, which was invented by Gleich and Weizenecker [11] at Philips, Hamburg in 2005. Their idea was to create a point in space where the magnetic field vanishes. This can easily be accomplished by two planar coils with antiparallel orientation. Due to their combined, opposite dipole fields exactly one point in space is field free. This point can be scanned through the volume of interest by superimposed homogeneous magnetic fields from additional drive field coils in all orthogonal directions without any moving parts. If there are magnetic nanoparticles inside this volume of interest, they are exposed to a time varying magnetic field during the scanning process. Due to their nonlinear magnetization curve the nanoparticles produce different higher harmonics for certain positions of the field free point. This way the positions of the magnetic nanoparticles can be spatially decoded by the fast motion of the field free point in space and an appropriate reconstruction method. Even in the early publications already 30 images per second were demonstrated with the prospect of a simple and fast magnetic imaging modality using magnetic nanoparticles as contrast agent. One drawback are the high gradient fields occurring in this process, which might move the particles, and the high frequency fields, which might heat the tissue too much beyond the ICNIRP acceptable limits. The first MPI system built completely in the institute at TU Braunschweig is depicted in Fig. 12 [12].

The generation of higher harmonics by the magnetic nanoparticles is visualized in Fig. 13. Depending on the superimposed selection field the sinusoidal drive field has a different offset and produces the spectral fingerprint shown at the right columns.

The simulated odd harmonic spectra for one dimensional positions of the field free point symmetrically around a position at 25 units are shown in Fig. 14. For a high resolution imaging many harmonics have to be recorded, as first approxi-

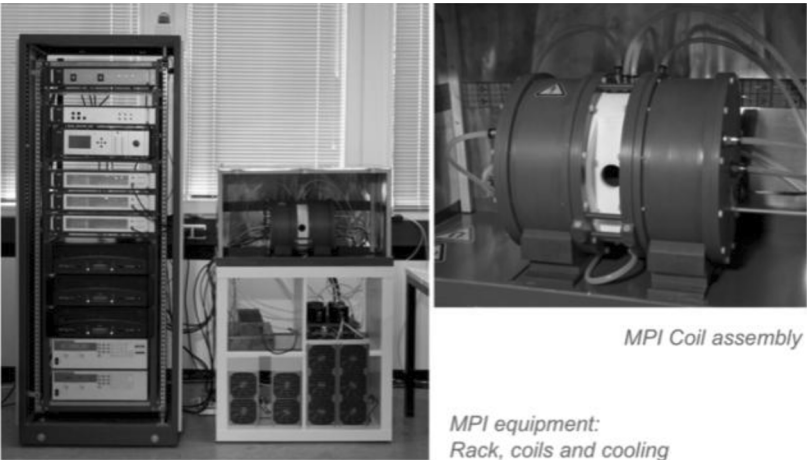


Fig. 12. MPI equipment and MPI coil assembly in the EMG-institute at TU Braunschweig.

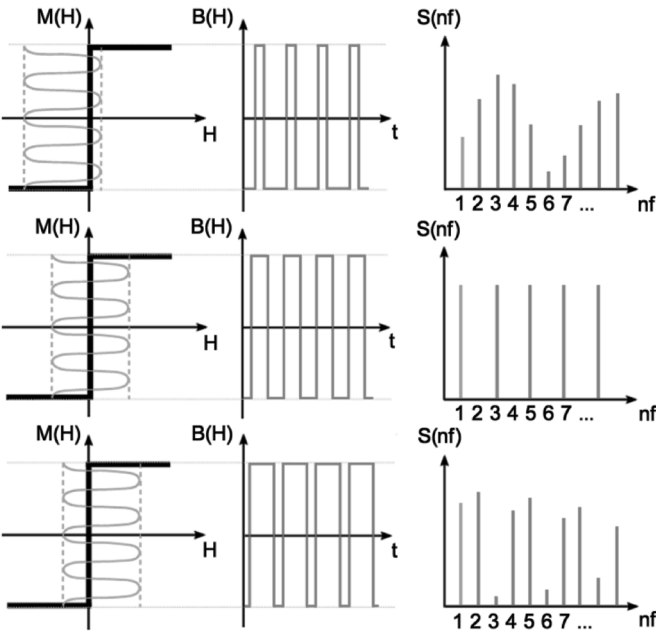


Fig. 13 Creation of higher harmonics of a sinusoidal excitation of the magnetization of magnetic nanoparticles.

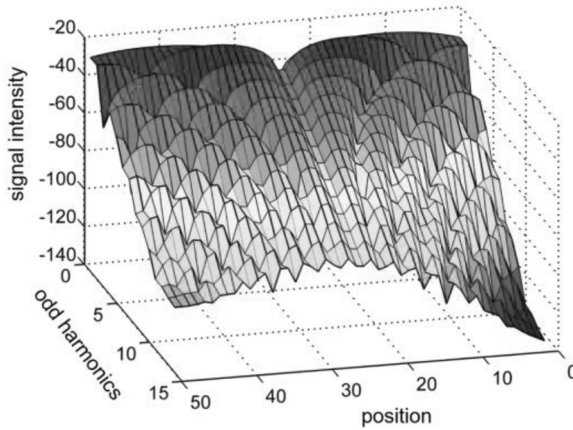


Fig. 14 Harmonic spectra for different positions of the field free point with respect to the nanoparticles.

mation the number of harmonics gives the number of pixels in one dimension. To encode the three-dimensional space, three slightly frequency shifted sinusoidal drive fields are employed, resulting in a three-dimensional Lissajous trace of the field free point to cover the whole volume of interest. The signature of the harmonic content, as recorded in the system matrix by calibration measurements before, is used by the reconstruction algorithm to image the unknown spatial nanoparticle distribution. At least three different approaches for reconstruction are pursued, as summarized in table 2. The simplest, but slowest method is to

Table 2. Different approaches for reconstruction in MPI.

Single harmonic	Many harmonics (frequency domain)	X space (time domain)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• narrow bandwidth (<math>&lt; 100</math> Hz, resonant readout)</li> <li>• high sensitivity</li> <li>• simple reconstruction (time domain)</li> <li>• no reference scan required</li> <li>• slow (max. 1 image/s)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• large bandwidth (<math>&gt; 1</math> MHz)</li> <li>• Sensitivity limited by amplifier noise</li> <li>• complex reconstruction (frequency domain)</li> <li>• time-consuming reference scan</li> <li>• fast (<math>&gt; 20</math> images/s, real time)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• large bandwidth (<math>&gt; 1</math> MHz)</li> <li>• Sensitivity limited by amplifier noise</li> <li>• simpler reconstruction (time domain)</li> <li>• no reference scan</li> <li>• slower (better SNR for reconstruction needed)</li> </ul>

analyze only single harmonics at a time with the advantage that a narrow band high-sensitivity receiver set-up can be employed. If many harmonics are recorded simultaneously a large bandwidth receiver is required with higher noise contribution and higher susceptibility to all kinds of external noise sources. The similar x-space reconstruction uses the time domain signals for reconstruction, but is considerably slower. So, for fast imaging the frequency domain reconstruction is preferable, despite is higher complexity [13].

## **VI. Conclusions and Outlook**

Magnetic nanoparticles are characterized by their size dependent magnetic properties. Depending on the material they behave superparamagnetic for the size required in biomagnetic applications in the human body. For a safe and reproducible application the magnetic nanoparticles have to be characterized throughout. Quality control requires to stabilize these properties from the production to the final application in diagnosis or therapy. This is still a considerable task to achieve. For diagnosis magnetic nanoparticles can be employed as markers in Magnetic Particle Imaging MPI. This new method provides unique imaging perspectives, as quantitative marker based molecular imaging of function with an affordable imaging system. The markers are biocompatible and long-term stable. Bound and unbound particles can be distinguished by their magnetic behavior. With MPI fast imaging of 46 pics/s or 21,5 ms for full field of view are already demonstrated [14]. MPI is sensitive imaging, since as low as 100 nmol Fe are detectable in immunoassays. MPI can be combined with other imaging methods for anatomy as fluorescence superresolution microscopy by fluorescent magnetic nanoparticles, but MRI, CT and PET are also possible.

## **VII. Acknowledgements**

The contributions of all collaborators are gratefully acknowledged, especially Frank Ludwig, who organizes the nanoparticle research in the institute for his exceptional engagement and his invaluable contributions to the field. We acknowledge financial support by SPP1681 "Feldgesteuerte Partikel-Matrix-Wechselwirkungen: Erzeugung, skalenübergreifende Modellierung und Anwendung magnetischer Hybridmaterialien", by SFB 578 „From gene to product“ and by European Commission FP7 project "Nanomag" (grant agreement no. 604448). We gratefully acknowledge support by the Braunschweig International Graduate School of Metrology B-IGSM and the DFG Research Training Group GrK1952/1 „Metrology for Complex Nanosystems.

## VIII. Literature

- [1] CHARBEL, T. & J. GIERALTOWSKI (2008): The Stoner-Wohlfarth model of Ferromagnetism. – *Eur. J. Phys.* **29**: 475–487.
- [2] LUDWIG, F., E. HEIM & M. SCHILLING (2007): Characterization of superparamagnetic nanoparticles by analyzing the magnetization and relaxation dynamics using fluxgate magnetometers. – *J. Appl. Phys.* **101**: 113909-1-10.
- [3] LAK, A. (2013): Synthesis and Characterization of Magnetic Iron Oxide Nanoparticles, Dissertation, TU Braunschweig 2013.
- [4] EBERBECK, D., F. WIEKHORST, S. WAGNER & L. TRAHMS (2011): How the size distribution of magnetic nanoparticles determines their magnetic particle imaging performance. – *Appl. Phys. Lett.* **98**: 182502.
- [5] YOSHIDA, T., K. ENPUKU, F. LUDWIG, J. DIECKHOFF, T. WAWRZIK, A. LAK & M. SCHILLING (2012): Characterization of Resovist nanoparticles for magnetic particle imaging. *Magnetic Particle Imaging, Springer Proceedings*. – *Physics*, **140**: 3–7.
- [6] LUDWIG, F., S. MÄUSLELEIN, E. HEIM & M. SCHILLING (2005): Magnetorelaxometry of magnetic nanoparticles in magnetically unshielded environment utilizing a differential fluxgate arrangement. – *Rev. Sci. Instrum.* **76**: 106102-1–3.
- [7] LUDWIG, F., E. HEIM, D. EBERBECK, K. SCHWARZ, L. TRAHMS & M. SCHILLING (2009): Comparison and calibration of fluxgate and SQUID magnetorelaxometry techniques for the characterization of magnetic core-shell nanoparticles. – *IEEE Trans. Magn.* **45**(10): 4857–4860.
- [8] HEIM, E. (2009): Fluxgate-Magnetorelaxometrie magnetischer Nanopartikel in der Bioanalytik. – Dissertation, TU Braunschweig.
- [9] WILLIAM T. COFFEY, P.J. CREGG & YURI P. KALMYKOV (1993): On the theory of Debye and Néel relaxation of single domain ferromagnetic particles. – *Adv. Chem. Phys.* **83**: 263.
- [10] REMMER, H., J. DIECKHOFF, A. TSCHÖPE, E. ROEBEN, A.M. SCHMIDT & F. LUDWIG (2016): Dynamics of  $\text{CoFe}_2\text{O}_4$  Single-Core Nanoparticles in Viscoelastic Media. – *Physics Procedia*, Volume **75**: 1150–1157.
- [11] GLEICH, B. & J. WEIZENECKER (2005): Tomographic imaging using the nonlinear response of magnetic particles. – *Nature* **435**(7046): 1214–1217.
- [12] MEINHARD SCHILLING, M., F. LUDWIG, C. KUHLMANN & T. WAWRZIK (2013): Magnetic Particle Imaging-Scanner with 10 kHz drive-field frequency. – *Biomed Tech (Berl)*. **58**(6): 557–63.

- [13] VIERECK, T. (2016): Magnetic Particle Imaging – Dissertation, TU Braunschweig.
- [14] WEIZENECKER, J., B. GLEICH, J. RAHMER, H. DAHNKE & J. BORGERT, (2009): Three-dimensional real-time in vivo magnetic particle imaging. – Phys. Med. Biol. **54**: L1–L10.



## **Dependable Advanced Driver Assistance Systems by a Combination of Design Time Testing and Runtime Monitoring\***

ANDREAS RAUSCH et.al.

TU Clausthal, Institute for Applied Software Systems Engineering,  
Wallstr. 6, D-38640 Goslar, E-Mail: andreas.rausch@tu-clausthal.de

### **Institute for Applied Software System Engineering (IPSSE)**

From coffee machines, through mobile phones and pacemakers, to aircraft – most products released these days include some kind of software element. The almost certainly complex programs hidden on the tiny microchips control all manner of processes, in a way acting as the brains behind the technology. A standard passenger car conceals around 100 million lines of code. If you printed this out onto standard paper and lined the pieces up end-to-end, then the line would stretch right across Europe. When it comes to the self-driving car of the future, the software will be even more complex and extensive.

Software developers of the future therefore don't just need ever greater knowledge, they also need innovative tools and systems that can deal with increasing complexity of requirements, while at the same time remaining affordable and flexible. This is the challenge addressed by the research association formed by the Institute for Applied Software Systems Engineering (IPSSE) at TU Clausthal and their expert colleagues at TU Braunschweig. The institute is supported and partially funded by notable companies from various sectors.

The research association carries out research in five fields: reliable reactive systems, adaptive and modular architectures, platform and development tools, hardware/software co-design, and continuing education. IPSSE Researchers investigate, e.g., the utilization of software components for sound and efficient modification of software systems, the optimization of task distribution and scheduling on multi-core systems, variable architectures for the integration of heterogeneous service into open adaptive systems, or the systematic identifica-

---

\* Der Vortrag wurde am 08.04.2016 in der Klasse für Ingenieurwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

tion of signal patterns in vehicle measurements for their analysis and usage in offline tests.

The research results are demonstrated and validated in practical applications in the environment of industrial partners and with their close cooperation. Within the research, demonstrators, prototypes or full-featured tools suitable for industrial programmers and engineers are developed incorporating innovative methods and latest academic results. Seamless tool support is realized within demonstrating scenarios.<sup>1</sup>

It is important to the Institute to also support budding researchers in all of these important fields. Students can benefit from a practical master's program alongside a tailored program of instruction. What is more, the graduates have a good chance of getting an attractive job in industry.

### **Research Project: Dependable Advanced Driver Assistance Systems**

In the following, one of our current research projects is described in more detail. In the project Dependable Advanced Driver Assistance System (DADAS), we currently investigate the verification and validation of Advanced Driver Assistance System (ADAS) under the infinite quantity of possible situations these system will encounter in the real world. It is necessary to systematically verify the safety of ADAS in such highly dynamic environments in order to exclude any for the drivers, the vehicles and any persons or objects in their environments.

### **Research Problem: Verification and Validation of ADAS**

Driver assistance systems, (semi-)autonomous mobility systems and mobility management systems are gaining more and more importance in mobility carriers, such as vehicles, aircraft or rail-transport systems. They greatly assist the driver in his controlling task or replace it partly or even completely. For example, they assist in critical situations, help to counteract a possible malpractice and minimize the risk of accidents.

Such assistance systems are, however, extremely complex. The size of the systems continuously increases with the set of functions with which they support the driver and results in a higher degree of autonomy for the assistance systems. ADAS has to independently plan and execute appropriate measures based on the

---

<sup>1</sup> see <http://www.ipsse.de/>

current environmental situation. Therefore the ADAS has to consistently monitor and interact with the highly dynamic environment, leading to a complex reactive system with distributed components and complex algorithms. Furthermore, the environmental complexity makes it not feasible to exhaustively consider every possible environmental situation in which the assistance system may have to work. This leads to a certain degree of uncertainty with which these systems have to be developed.

Despite the increasing influence of driver assistance systems, the highest road safety must be maintained. ADAS has to safely operate in highly dynamic environments and to exclude any harm for the drivers, the vehicles and any persons or objects in their environments. Developers are required to sufficiently prove the system's dependability.

Today's conventional engineering methods are not able to provide such dependability guarantees for the steadily increasing complex ADAS with its (semi-) autonomous functionalities and inherent uncertainty. Currently, mainly statistical quality assurance techniques are used. The ADAS is observed along a large number of actually driven miles. If no accident occurs within this distance, the ADAS is judged to be safe. However, if the functionality and complexity of ADAS increase, actually driving the Dependable Advanced Driver Assistance Systems (DADAS) vehicle for long distances is infeasible if not impossible. Also, it will be unclear if all relevant situations can be encountered by randomly driving the vehicle, even for longer distances.

New approaches have to be developed to ensure the availability, reliability, safety and accuracy of these complex driver assistance systems. An idea is to transfer quality assurance effort from tests on real roads to offline simulations in order to reduce the costs and time needed for failure search and correction. In these simulations, the ADAS has to be tested for a comprehensive set of common and uncommon – critical- traffic scenarios which the automated vehicle will encounter in the real world.

Even though the set of possible scenarios, in which an ADAS is required to behave as expected and needs to be simulated (tested) is vast - if not unlimited -, the set of scenarios, considered in simulations and tests, still has to be constructed systematically. With current state-of-the-art quality assurance approaches from computer science and systems engineering, ADAS cannot be verified appropriately through simulations and tests. A systematic approach for determining all relevant scenarios for the correct and safe behavior is missing. The uncountable amount of possible scenarios is unlikely to be exhaustively simulated and tested. Furthermore, a sufficient coverage criterion for the reduction of the considered set of scenarios, as known from traditional software testing, is not yet defined for ADAS and its variety of vast scenarios.

## Research Objectives: System Dependability by a Combination of Design Time Testing and Runtime Monitoring

In our research we intend to devise novel methods in order to ensure the safety, robustness and dependability of ADAS by detecting critical and unsafe driving situations and initiating appropriate counter measures. We aim at a synergetic combination of design time analysis and runtime monitoring (cf. Figure 1: Overview about the combination of design time testing and runtime monitoring. Figure 1) in order to determine behavioral deviations of ADAS and/or environments, as well as failures of sensors, under quality-related costs.

Using design time testing in x-in-the-loop simulations, the correctness and dependability of ADAS is verified for a pre-defined manageable subset of relevant traffic scenarios. These can be the most relevant or most dangerous scenarios known at design time. It is impossible to test all possible real scenarios, ADAS is likely to encounter in the real world, because of its exponential combinatorial. We can only exhaustively test a well-defined subset of all possible scenarios at design time. This subset of relevant traffic scenarios has to be systemically assembled. Each scenario is used in the simulations as environmental model.

The set of test qualified scenarios is adopted as foundation for the runtime monitoring within the vehicle. All traffic situations merging from the simulations of these scenarios are recorded and used as knowledge for the runtime monitors. If those situations are the only ones encountered at runtime, the ADAS is known to be safe. If a non-secured behavior is monitored in one or more situations, no guarantees can be given for the correctness and dependability of the vehicle in

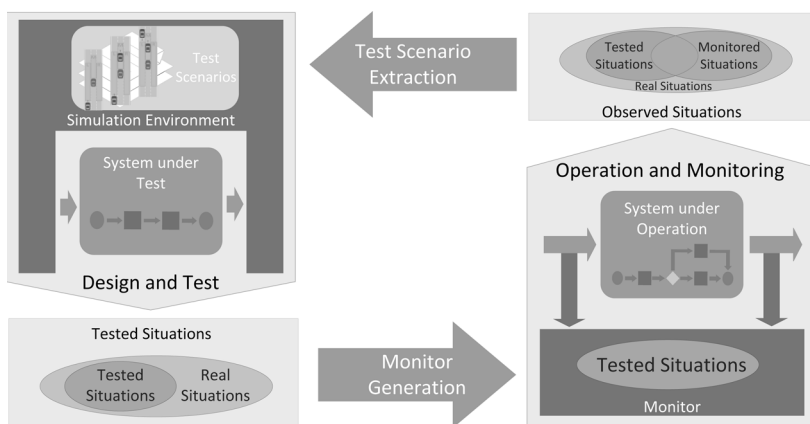


Figure 1: Overview about the combination of design time testing and runtime monitoring.

these situations. For instance, the driver can be warned or the ADAS functionality can be disabled. Further, the behavioral deviations of the ADAS and/or the environment from the behaviors of the qualified scenarios allow estimations about failures of the ADAS, its sensors or the assumed scenarios.

An iterative feedback process can be used to extend the set of verified scenarios by adding missing, scenarios from the in-vehicle monitoring to the test set of scenarios or altering existing faulty scenarios. With each iteration the maturity level of the DADAS test and the simulation framework will improve. After several iterations the behavior of the ADAS in the most likely driving situations is tested and qualified. This approach will iteratively eliminate unsafe behavior from ADAS and enhance the dependability and safety of these systems, which will result in an improvement of the overall traffic safety by reducing the number of accidents.

Our concept and implementation of this approach – combining design time testing in simulation and runtime monitoring to improve the dependability of complex Advanced Driver Assistance Systems – can be found in the following peer-reviewed publications:

- [1] MAURITZ, M., A. RAUSCH & I. SCHAEFER (2014): Dependable ADAS by Combining Design Time Testing and Runtime Monitoring. – In FORMS/FORMAT 2014, 10th Int. Symp. on Formal Methods.
- [2] MAURITZ, M., F. HOWAR & A. RAUSCH (2015): From Simulation to Operation: Using Design Time Artifacts to Ensure the Safety of Advanced Driving Assistance Systems at Runtime. – International Workshop on Modelling in Automotive Software Engineering.
- [3] MAURITZ, M., F. HOWAR & A. RAUSCH (2016): Assuring the Safety of Advanced Driver Assistance Systems Through a Combination of Simulation and Runtime Monitoring. – In Leveraging Applications of Formal Methods, Verification and Validation: Discussion, Dissemination, Applications.

## **Modellierung des Niederschlages für die hydrologische Bemessung\***

UWE HABERLANDT

Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau der Leibniz Universität Hannover, Appelstr. 9a, D-30167 Hannover,  
E-Mail: haberlandt@iww.uni-hannover.de

Der Niederschlag ist die entscheidende Eingangsgröße für alle hydrologischen Bilanzierungen und Berechnungen. Er kann mit Hilfe hydrologischer Modelle in Abflüsse transformiert werden. Diese können dann für die Bemessung von Bauwerken zum Schutz vor Hochwasser (HW) wie z.B. die Bestimmung von Volumina von HW-Rückhaltebecken, die Querschnitte von HW-Entlastungen von Talsperren oder die Dimensionierung städtischer Kanalnetze verwendet werden. Aber auch für die Schaffung von Ausgleichsmaßnahmen in Trockenzeiten wie z.B. Speicherräume von Talsperren sind Informationen über den Niederschlag bzw. dessen Ausbleiben erforderlich.

Der Niederschlag ist charakterisiert durch eine hohe zeitlich und räumliche Variabilität, welches seine Messung und Modellierung schwierig macht. Der Vortrag beschäftigt sich mit modernen Methoden zur besseren Messung, räumlichen Interpolation und zeitlichen Synthese von Niederschlägen als Grundlage für die hydrologische Bemessung.

Im ersten Teil des Vortrages wird speziell eine neue Messmethode „RainCars“ diskutiert, bei der der Niederschlag mit bewegten Fahrzeugen gemessen wird. Als Sensoren dienen entweder die Scheibenwischer oder optische Sensoren, die erstere steuern. Die Fahrzeuge müssen mit GPS und einem Speicherchip zur Registrierung von Koordinaten, Fahrzeuggeschwindigkeit und Wischerfrequenz ausgestattet werden. Es wird von der Hypothese ausgegangen, dass für die Ermittlung des Gebietsniederschlages eine große Anzahl ungenauer Messungen besser ist als wenige exakte Beobachtungen. Die Hypothese konnte anhand von Labor- und Computerexperimenten bestätigt werden (Haberlandt and Sester, 2010; Rabiei et

---

\* Der Vortrag wurde am 10.06.2016 in der Klasse für Ingenieurwissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

al., 2013). Für den Nachweis der praktische Machbarkeit sind jedoch in größerem Rahmen Feldexperimente erforderlich.

Der zweite Teil des Vortrages widmet sich der räumlichen Interpolation des Niederschlages. Für Modellanwendungen sind die punktuell gemessenen Daten auf die Fläche zu übertragen. Zunächst werden verschiedenen Interpolationsmethoden gegenübergestellt. Dann wird näher auf die multivariaten geostatistischen Verfahren eingegangen. Diese erlauben ein objektives und quantitatives Zusammenführen von Informationen über den Niederschlag aus unterschiedlicher Messmethoden. Speziell relevant ist hier das Merging von Niederschlagsdaten aus Radarbeobachtungen und Punktmessungen mit Hilfe von External-Drift-Kriging o.ä. Verfahren, welche deutlich bessere Gebietsniederschläge liefern als die univariaten Verfahren, bei denen jede Messung für sich betrachtet wird (Berndt et al., 2014).

Im letzten und dritten Teil des Vortrages geht es um die stochastische Synthese von Niederschlagszeitreihen. Aufgrund der fehlenden Messnetzdichte und der zu kurzen Beobachtungsdauern zeitlich hoch aufgelöster Niederschläge haben diese Modelle eine hohe Relevanz für die Bereitstellung kontinuierlicher Bemessungsniederschläge im Rahmen von hydrologischen Prognosen. Nach einem Vergleich unterschiedlicher Modelltypen wird ein Alternating-Renewal-Modell näher vorgestellt (Haberlandt et al., 2008). Schließlich wird auf das laufende Forschungsvorhaben SYNOPSE eingegangen, in welchem unterschiedliche Niederschlagsmodelle für die Planung und Optimierung von Kanalnetzen in der Stadthydrologie verglichen werden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Niederschlagsmodelle besser in der Lage sind das örtliche Niederschlagsgeschehen zu simulieren, als es derzeit in der Praxis mit der Verwendung einer Ersatznachbarstation beim Fehlen örtlicher Messungen möglich ist.

## Literatur

BERNDT, C., E. RABIEI & U. HABERLANDT (2014): Geostatistical merging of rain gauge and radar data for high temporal resolutions and various station density scenarios. – *Journal of Hydrology* **508**: 88–101.

HABERLANDT, U., A.D. EBNER VON ESCHENBACH & I. BUCHWALD (2008): A space-time hybrid hourly rainfall model for derived flood frequency analysis. – *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **12**: 1353–1367.

HABERLANDT, U. & M. SESTER (2010): Areal rainfall estimation using moving cars as rain gauges – a modelling study. – *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **14**(7): 1139–1151.

RABIEI, E., U. HABERLANDT, M. SESTER & D. FITZNER (2013): Rainfall estimation using moving cars as rain gauges – laboratory experiments. – *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, **17**: 4701–4712.

## **Scitis, quanto semper amore Graecarum rerum flagrem – Motive für den Höhepunkt des humanistischen griechischen Dichtens um 1600\***

WALTHER LUDWIG

Reverntlowstr. 19, D-22605 Hamburg, E-Mail: walther.ludwig@uni-hamburg.de

Ausgehend von einem griechischen Gratulationsgedicht für Dr. iur. utr. Gregor Lienhardt von Martin Crusius (1580), wurde die Lehrer-Schüler-Genealogie der Griechisch-Studien im Abendland bis Crusius besprochen, da dieser in Chrysoloras in Florenz (1398) seinen geistigen Urururgroßvater sah. Der Tübinger Professor Crusius wollte mit den griechischen Gedichten seiner *Germanograeciae Libri sex* (1585) sozusagen die Gräzisierung der Deutschen dokumentieren (Griechenland war über die Alpen geflogen). Seine frühe Begeisterung für Sprache und Literatur der Griechen gründete auf dem Reichtum der griechischen Literatur (er kannte 127 Autoren), auf ihrer vermeintlichen Kontinuität von 1530 vor bis 1560 nach Chr. und ihrer Verbreitung auf drei Kontinenten. Sein Ziel war, daß die griechische Literatur in Deutschland nicht nur rezipiert, sondern fortgesetzt wird, wie dies mit der lateinischen durch die Humanisten seit Petrarca geschehen war. Seit 1573 kam er in brieflichen Kontakt mit dem griechischen Patriarchen in Konstantinopel und anderen orthodoxen Geistlichen, und er entwickelte auch ein Interesse an der griechischen Volkssprache, die er Barbaro-Griechisch nannte.

Der thüringische Schulrektor und Universitätsprofessor Laurentius Rhodomanus (1546–606) folgte ihm in der Praxis des griechischen Dichtens und im Einsatz für das Griechischsprechen und -schreiben der Deutschen, da dies erstens für theologische Kommunikation mit den Griechen zum Zwecke einer evangelisch-orthodoxen Glaubensunion nötig sei und es zweitens bis zum Anfang des 17. Jahrhunderts noch Hoffnungen gab, daß die Osmanen vertrieben und die Griechen ins Römische Reich eingegliedert werden könnten. Durch sein Epos *Palaestina* (1589), das in fast 4000 griechischen Hexametern die Geschichte des Heiligen Landes von Adam bis zur Türkenherrschaft darstellt, wurde Rhodomanus unter seinen gebildeten Zeitgenossen als zweiter oder biblischer Homer berühmt.

---

\* Kurzfassung des Vortrags, der am 12.02.2016 in der Klasse für Geisteswissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten wurde.



Auch andere Humanisten dichteten Griechisch. Doch nach Wegfall dieses ideologischen und politischen Hintergrundes kam es nicht mehr zu so vielen und ausgedehnten griechischen Dichtungen deutscher Humanisten, wenn auch einzelne, in der Regel kleinere griechische Dichtungen aus Liebe zur griechischen Sprache und Literatur bis ins 20. Jahrhundert verfaßt wurden.

Als Beispiel griechischen Dichtens um 1600 wurde zum Abschluß noch eines der vielen griechischen Gedichte des Jenaer Professors der Rechte Nicolaus Reusner interpretiert, der 1593 ein Hochzeitsgedicht in griechischen Anakreonten drucken ließ, in dem Aphrodite und die drei Grazien als (damals wohl durch Studenten verkörperte) Sprecherinnen auftraten. Reusners griechisches Epithalamion ist ein Amalgam des antiken heidnischen Griechenlands, des christlichen Glaubens und der deutschen Gegenwart. Reusner wollte in einer Distanz von über 2000 Jahren die Tradition des frühgriechischen Lyrikers Anakreon erneuern und glaubte an die Zukunft dieses exorbitanten Unternehmens.

## Die deutschen Nachtigallensteuern im 19. Jahrhundert\*

NIKLOT KLÜSSENDORF

Koppelkaute 2, D-35287 Amöneburg, E-Mail: [kluessen@staff.uni-marburg.de](mailto:kluessen@staff.uni-marburg.de)

Vom späten 17. bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts bewegte sich die Behandlung von Singvögeln im Abgaberecht zwischen zwei Extremen, den „Sperlingssteuern“, die mit fiskalischem Druck von Groschentarifen die Bekämpfung der Schadvögel durchsetzten<sup>1</sup>, und der „Nachtigallensteuer“. Letztere sollte in Wertschätzung der beliebten Sänger deren Käfighaltung mit hohen Jahressätzen einschränken.

Die Nachtigall (*Luscinia megarynchos*) und ihre mehr im Osten verbreitete Schwesterart, der Sprosser (*Luscinia luscinia*), zuweilen als *polnische* oder *ungarische* Nachtigall bezeichnet, werden von alters her durch den lieblichen Gesang ihrer Männchen zur Balzzeit als Frühlingsboten wahrgenommen und im fröhlicheren Reviergesang geschätzt. Die Verbreitungsgebiete der zwei Arten überschneiden sich gerade im Nordosten und in der östlichen Mitte Deutschlands<sup>2</sup>. Als Bodenbrüter im dichten Unterholz waren die nach Mitte April aus den Überwinterungsquartieren in Afrika heimkehrenden Zugvögel vielfältig bedroht, einmal von Vogelfängern, zum anderen von Kindern und Jugendlichen (*muthwillige Knaben*), denen das Ausräumen von Nestern als Zeitvertreib diente. Selbst der Verzehr der Vögel als Delikatesse kam vor, wie für die meisten anderen Singvögel, kann im Folgenden jedoch außer Betracht bleiben. Da Nachtigallen wegen ihres musikalischen Unterhaltungswerts gern als Käfigvögel gehalten wurden, wurden sie für die Vogelsteller zu einem lukrativen Handelsgegenstand.

Zum Schutz der Nachtigallen wurden seit dem Spätmittelalter landesherrliche Ordnungen erlassen, so ein Nürnberger Bußtarif von 5 Gulden (fl.), fällig beim Fang vor dem St. Jakobs-Tag (25. Juli)<sup>3</sup>. Aus Brandenburg sind Verordnungen

---

\* Der Vortrag wurde am 10.06.2016 in der Klasse für Geisteswissenschaften der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

<sup>1</sup> N. KLÜSSENDORF: Schlechte Zeiten für Sperlinge. „Schadvogelbekämpfung“ in Nordhessen vom 18. Jh. bis zum Zweiten Weltkrieg, in: Ornithologische Mitteilungen 68 (2016), S. 168–214.

<sup>2</sup> A. HILPRECHT: Nachtigall und Sprosser (Die neue Brehm-Bücherei), Wittenberg <sup>2</sup>1965.

<sup>3</sup> HILPRECHT, S. 87 f.; J. KLOSE: Aspekte der Wertschätzung von Vögeln in Brandenburg. Zur Bedeutung der Artenvielfalt vom 16. bis zum 20. Jh., Göttingen 2005, S. 189–193.

von Kurfürst Friedrich Wilhelm (reg. 1640–1688) und seinem Nachfolger Friedrich III. (reg. 1688–1713, 1701 als Friedrich I. König in Preußen) vom 25. August 1686 und vom 28. März 1693 bekannt. 1686 wurden Nachtigallen unter ganzjährigen Schutz gestellt. Hinzu kam ein Verbot des Handels mit den Vögeln. 1693 wurde die Einfuhr fremder Nachtigallen und ihre Haltung in Käfigen untersagt. Die Besitzer hatten ihre Vögel sofort fliegen zu lassen. Dies war später der Ausweg für Nachtigallenhalter, sich der Abgabepflicht zu entledigen.

Aus dem Ancien Régime sind Schutzverordnungen für zahlreiche weitere Territorien belegt, etwa aus Hanau-Münzenberg, Nassau, Braunschweig-Wolfenbüttel oder Sachsen-Coburg. Sie wandten sich in erster Linie gegen das Fangen der Vögel, die Zerstörung der Nester und das Sammeln von Eiern. So drohte etwa die kurtrierische Verordnung vom 14. April 1769 dafür eine Strafe von 6 Goldgulden oder Turmhaft bei Wasser und Brot an, mit dem Zusatz, kleine Buben würden gleich oft mit Ruten gestrichen, größeren seien Stockhiebe zu verabreichen<sup>4</sup>. Es blieb weithin Aufgabe der Lehrerschaft, dem Vandalismus von Schulkindern gegen Vögel und ihre Nester entgegenzuwirken. Im Ernestinischen Herzogtum Sachsen liegen allein aus den Fürstentümern Weimar und Eisenach von 1721 bis 1777 zwölf Verbote des Nachtigallenfangs vor. Sie drohten hohe Geldstrafen an, lobten Prämien für Denunzianten aus und richteten sich zum Teil auch gegen den Handel<sup>5</sup>. Der erste fassbare Versuch, Fängern ihr Geschäft zu erschweren, indem auf ihre Abnehmer, die Käfighalter, zugegriffen wurde, findet sich in einem Zirkular der Regierung zu Weimar vom 24. Mai 1777. Ungeachtet aller früheren Verordnungen würden weiterhin Nachtigallen gefangen und öffentlich gehalten. Daher wurden, zur *Steuerung dieses Unwesens*, eine klassische Formulierung für eine „Lenkungssteuer“, die Halter von Nachtigallen *in die Steuer gelegt*<sup>6</sup>. Der Tarif von 4 guten Groschen (=  $\frac{1}{6}$  Taler) war freilich zu niedrig, um Wohlhabende wirklich abzuschrecken.

Die Umtriebigkeit von Vogelfängern führte zu hohen Fangzahlen, auch im Fürstentum Nassau-Dillenburg, das bereits 1746 ein Fangverbot erlassen hatte<sup>7</sup>. Als die Regierung am 25. Mai 1784 sogar befahl, alle Nachtigallen freizulassen und dies mit der Polizei durchsetzte, stieß dies auf empörten Widerstand der Besitzer, die ihre seit Jahren in Gefangenschaft gehaltenen Vögel zu deren Schutz

<sup>4</sup> J. J. SCOTTI: Slg. der Gesetze und Verordnungen [...] in dem vormaligen Churfürstentum Trier, Bd. 3, Düsseldorf 1832, Nr. 684.

<sup>5</sup> Alphabetischer Auszug der Gesetze der Fürstlich Weimar- und Jena'schen Lande, Weimar 1799, S. 355.

<sup>6</sup> Thür. Hauptstaatsarchiv Weimar, Gesetze B 2027, Bd. 23, fol. 142 r., dazu fol. 185 r. ein Reskript an die Landschaftliche Kassendirektion zu Weimar vom 14. Nov. 1777.

<sup>7</sup> Hess. Hauptstaatsarchiv Wiesbaden [HStAW], Abt. 173, Nr. 1882; Abt. 179, Nr. 88.

nicht in die unwirtliche Natur entlassen wollten und mit solchen Begründungen um Ausnahmen einkamen<sup>8</sup>. Bei einer Visitation am 4. Mai 1800 wurden viele Verstöße gegen das Fangverbot im Amt Dillenburg festgestellt (allein 24 Tiere bei einem Fänger). Handwerker machten aus Fang und Handel einen lukrativen Nebenerwerb<sup>9</sup>. Hervorzuheben sind Eingaben Dillenburger Bürger von März und April 1804, die baten, die Käfighaltung wenigstens für *außer Landes* gekaufte Nachtigallen zu gestatten und anregen, dafür eine *billige Taxe* einzuführen. Der örtliche Amtmann schlug dafür 1½ Gulden vor, doch ließ sich die Regierung nicht auf eine Steuer ein<sup>10</sup>. In diesen zwei Petitionen fallen zwei ungewöhnliche Punkte auf: die Sonderbehandlung der von auswärts bezogenen Nachtigallen und der Steueraspekt. In Dillenburg war offenbar bekannt, was anderthalb Jahre zuvor in der direkten territorialen Nachbarschaft verfügt worden war. Das 1803 zum Kurfürstentum erhobene Hessen-Kassel hatte für importierte Nachtigallen eine jährliche Abgabe eingeführt und damit neue Akzente gesetzt.

Am 21. Mai 1798 erließ das Oberforstamt zu Kassel eine Verfügung zum Schutz solcher Singvögel, die sich durch den Verzehr von Raupen und Insekten nützlich machten. Im Hinblick auf Schäden für Waldungen, Obstbaumzucht und Landwirtschaft wurde bei 10 Talern Geldstrafe verboten, die Vögel zu fangen oder zu töten<sup>11</sup>. Aufgeführt waren Kuckucke, Spechte, Wendehälse, Baumläufer, Schwalben und Meisen, dazu Fledermäuse, die bekanntlich keine Vögel sind. Denunzianten erhielten die übliche Prämie von einem Drittel der eingehenden Geldstrafe. Die Forstbußgerichte hatten Verstöße in Register aufzunehmen. Am 28. September 1802 wiederholte die Regierung in Kassel die Regelung in substantiell verbesserter Form<sup>12</sup>. Das Ausschreiben legte dar, der Unfug nehme wieder auf *äußerst freche* Art überhand. Besonders werde Nachtigallen nachgestellt und deren Eier blieben nicht verschont. Das Verbot von 1798 wurde daher eingeschränkt und mit Einschluss des Eiersammelns, also auch des Nestausnehmens, auf alle Vögel ausgedehnt. Eine Klarstellung, dass Sperlinge von dem Schutz ausgenommen waren, sollte in dem Jahr mit hohem Sperlingsaufkommen Missverständnisse ausräumen. Denn Spatzen wurden als Schädlinge verfolgt, landesweit seit der Greben-Ordnung vom 6. November 1739<sup>13</sup>. Diese hatte, an ältere, nur vereinzelt nachweisbare Praktiken angelehnt,

<sup>8</sup> HSTAW, Abt. 175, Nr. 1335; Ausnahmeanträge: Abt. 172, Nr. 2289.

<sup>9</sup> HSTAW, Abt. 173, Nr. 1882.

<sup>10</sup> HSTAW, Abt. 172, Nr. 2289.

<sup>11</sup> Slg. Fürstlich Hessischer Landes-Ordnungen [HLO], Bd. 7, Kassel 1802, S. 781. Übersehen wurde fortan die ältere Strafe für Nachtigallenstörung mit 20 Thl. vom 1. Juli 1785. HLO, Bd. 6, Kassel 1792, S. 1209.

<sup>12</sup> HLO, Bd. 8, Kassel 1816, S. 101. Gleichlautend publiziert durch die Regierung zu Hanau.

<sup>13</sup> HLO, Bd. 4, Kassel 1784, S. 608–665, hier S. 613.

in ihrem Polizeirecht die Landbevölkerung dazu verpflichtet, jährlich eine Anzahl Sperlinge zu fangen und zum Nachweis deren Köpfe vorzulegen. Auf das Ausschreiben von 1798 war Widerstand zu befürchten, der mit der damals aufkommenden Erkenntnis zu begründen war, Sperlinge fräßen auch Raupen und Insekten<sup>14</sup>. Vögel, von denen viele nur ein- bis zweimal im Jahr brüten wie die 1798 aufgeführten, waren freilich schutzbedürftiger als Sperlinge, die es bis auf vier Jahresbruten bringen. Die Lieferungspflicht für Sperlingsköpfe entfiel 1818<sup>15</sup>, konnte aber bei Bedarf seit 1823 bis zum Ende Kurhessens (1866) von Kreisen und Kommunen aktiviert werden.

Im Hinblick auf den skizzierten Unfug, Nachtigallen nachzustellen, erhielt die Verordnung einen Zusatz, der über Strafdrohung für das Fangen und Ausnehmen der Nester hinausging: Der Besitzer einer angeblich im Ausland gefangenen Nachtigall hatte dafür jährlich einen Dukaten *ad pios usus*, also für mildtätige Zwecke, zu entrichten und musste den Namen des Verkäufers angeben. Ausreden, eine im Käfig gehaltene Nachtigall sei nicht verbotswidrig gefangen, sondern importiert, war damit der Boden entzogen. Käfighaltung galt fortan als Luxus. Wer nicht zahlen wollte, konnte seine Nachtigall freilassen oder verkaufen, nach Möglichkeit nicht im Inland. Die Abgabe war durch ihre Höhe darauf angelegt, sich überflüssig zu machen, indem sie Vogelbesitzer dazu motivierte, die Käfighaltung zu reduzieren<sup>16</sup>. Hinterzieher mussten fürchten, dass der Gesang ihrer Vögel die Polizei und missliebige Nachbarn als Anzeigende auf den Plan rief. Dabei galt das Versprechen, ein Drittel der Strafe Denunzianten zukommen zu lassen, nicht für den Dukaten, ein im allgemeinen Umlauf kaum geläufiges Nominal der Luxus-Sphäre, das als internationale Handelsmünze zum floatenden Börsenkurs in gängige Silberwährung umzurechnen war (etwa  $3\frac{1}{8}$  Thl.).

Das scharfe Instrument war nun vorhanden, ohne durchgehend eingesetzt zu werden. Nach Wiederherstellung des kurhessischen Staates (1813) wurde die Steuer von 1802 für das 1816 angefallene Gebiet des ehemaligen Hochstifts Fulda zu Anfang Juli 1828 gesondert, also mit erheblicher Verspätung, nach Entscheidung des Geheimen Kabinetts eingeführt<sup>17</sup>. Bis zum Ende der zwanziger Jahre erinnerten Kasseler Amtsblattnotizen nur sporadisch an die Abgabe (1815, 1820, 1826). Durchgesetzt wurde sie kaum, örtlich erst seit Mitte der zwanziger Jahre, in Kassel nach den ergebnislosen Ankündigungen sogar erst ab 1834. Das Verfahren lief vereinzelt bis in die achtziger Jahre, auch nur in einigen

<sup>14</sup> J. SEITZ: Three hundred years of House Sparrow (*Passer domesticus*) persecution in Germany, in: Archives of natural history 34 (2007), H. 2, S. 307–317, bes. S. 310 f.

<sup>15</sup> Slg. von Gesetzen, Verordnungen, Ausschreiben und sonstigen allgemeinen Verfügungen für die kurhessischen Staaten, Bd. 2, Kassel 1820, für 1818: S. 84.

<sup>16</sup> Siehe unten Anm. 32.

<sup>17</sup> Hess. Staatsarchiv Marburg [im Folgenden: StAM], Best. 16, Nr. 9983. Wochenbl. für die Provinz Fulda 1828, S. 463.

Teilen Kurhessens bzw. des späteren preußischen Regierungsbezirks Kassel. Da die Abgabe dem Staat nicht direkt zustand, überließ man es den örtlichen Armenkassen, sich um die Erhebung zu bemühen. Kompetenzstreitigkeiten zwischen den unteren Stellen im Finanzressort und der Polizeiverwaltung, wer eigentlich zuständig war, ließen sich oft schwer lösen und interessierten die Oberbehörden nur wenig<sup>18</sup>. Die Ober-Finanz-Kammer in Kassel verstand 1836 die Abgabe irrig als *Strafe* und 1851 bestritt das Finanzministerium die Zuständigkeit seiner Abteilung für direkte Steuern und verwies auf das Innenministerium<sup>19</sup>.

Wohlhabende, darunter Beamte und höhere Offiziere, versuchten, sich um die Zahlung zu drücken, drohten gar, ihre regulären Beiträge zur Armenkasse einzustellen, oder wandten ein, sie hielten keine Nachtigallen, sondern Sprosser, die nicht im Ausschreiben genannt waren. Für letztere konnte eigentlich kein Herkunftsnachweis verlangt werden. Die Unterscheidung der zwei Arten überforderte die Beamten vor Ort völlig, so dass Unterschiede in der Behandlung der Vögel und ihrer Halter die Folge waren. Zuweilen wurden Vogelkenner eingeschaltet. So war ein angeblicher Sprosser, der sich als Nachtigall entpuppte, 1851 nach dem aktenkundigen Lebensalter für drei Jahre nachzuversteuern. Außer aus Kassel und Hanau, wo sich die Polizisten auf ihren Patrouillen nach dem Gesang von Nachtigallen umhörten, sind nur für wenige weitere Orte Verfahren belegt (Fulda, Hersfeld, Melsungen und Schmalkalden). Die Abgabe war so ausgefallen, dass sie außerhalb von Kassel und Hanau in Vergessenheit zu geraten drohte, wenn sie nicht ein eifriger neuer Beamter zu aktivieren suchte. Die Anwendung führte regelmäßig zu Differenzen. Für den Kreis Schmalkalden wurden 1836 26 Stellen tätig, die gerade einmal zwei Nachtigallen erfassten. Vor 1850 lag die sinkende Veranlagungszahl in den beiden großen Städten selten über einem Dutzend. Die normalen Schutzregeln für Singvögel blieben in Kraft, auch der in die Forst-, Jagd- und Fischerei-Strafordnung vom 30. Dezember 1822 übernommene 10-Taler-Tarif für Störung der Nachtigallen (andere nützliche Singvögel: 2½ Thl.), den auch die Rechtsbereinigung im Revolutionsjahr 1848 bestätigte<sup>20</sup>.

Ungeachtet der Schwierigkeiten in der Praxis wurde die Verordnung mit ihrem hohen Tarif zum Muster für die Abschreckung von Nachtigallenhaltern. Auch ohne direkte textliche Entlehnungen war sie die erste im 19. Jahrhundert und wurde damit zum Vorläufer des Abgabetyps. Kurhessen galt in der

<sup>18</sup> StAM, Best. 16, Nr. 16298; Best. 175, Nr. 409; Best. 180 Hanau, Nr. 5020; Stadtarchiv Fulda, A XIV Cc 39, A XIV Co E 9. Demnächst s. N. KLÜßENDORF: Die Nachtigallensteuer und der Vogelschutz in Schmalkalden zu kurhessischer Zeit, in Schmalkaldische Geschichtsbll. 7 (2017) [im Druck].

<sup>19</sup> StAM, Best. 47 Schmalkalden, Nr. 269; Best. 49 b, Nr. 1927.

<sup>20</sup> Kurhess. Gesetzslg. (wie Anm. 15) 1822, S. 79–109, hier S. 106; ebd. 1848, S 49. Auch im Jagdgesetz vom 1. Dez. 1865, in: Kurhess. Gesetzslg. 1865, S. 571–577, § 30.

Nachtigallenbesteuerung als Referenzstaat, bei dem sich selbst die Regierung von Sachsen-Weimar-Eisenach 1857 ungeachtet eigener älterer Erfahrungen nach der Handhabung erkundigte, als die Beseitigung der Steuer gefordert wurde<sup>21</sup>. Gerade in Thüringen, wo Vogelfänger bei Verfolgung gern über die Landesgrenzen wechselten, sah man auf die Nachbarn. So hatte das im Vogelschutz stark engagierte Sachsen-Coburg-Saalfeld um 1820 versucht, die Regierungen in Arnstadt, Weimar und Erfurt auf ein ähnliches Vorgehen einzustimmen<sup>22</sup>.

Die ersten beiden Drittel des 19. Jahrhunderts, vor allem die Zeit des Deutschen Bundes (1815–1866), wurden zur großen Epoche der Nachtigallensteuern, die hier mit Blick auf Vorläufer, Nachzügler und ähnliche Vorgehensweisen behandelt werden. Einige Staaten schlossen das besonders im östlichen Brandenburg aktuelle Definitionsproblem hinsichtlich der Sprosser aus, indem sie diese in ihre Verordnungen aufnahmen. Dies waren Sachsen-Weimar-Eisenach, Sachsen-Altenburg und Schwarzburg-Sondershausen. Sachsen-Gotha und Bremen setzten dies 1836 bzw. 1858 hinzu, Sachsen-Gotha gar mit Hinweis darauf, die Gesetzeslücke wegen Missbrauchs durch solche Ausreden zu schließen. Das Königreich Sachsen nahm dagegen Sprosser aus der Steuerpflicht aus; Sachsen-Altenburg bezog mehrere Arten von Grasmücken ein. Fast alle Verordnungen warnten vor dem Fangen, Töten und der Nestbeschädigung oder schärften die älteren Polizei- oder Forstamtsverbote ein. Nur Bremen und Schwarzburg-Rudolstadt verfügten ohne Umschweife die Belastung mit der Abgabe.

Die Quellen zum Vergleich lieferten die einschlägigen, großteils im Netz-Zugriff erreichbaren Gesetzausgaben der deutschen Staaten, die, soweit vorhanden, mit Nutzung der Indizes durchgesehen wurden, zum Teil jahrweise anhand der Bände<sup>23</sup>. Die Ebene regionaler und kommunaler Amtsblätter und Akten konnte nur in Ausnahmefällen berücksichtigt werden. Preußen wurde zum Sonderfall. Es praktizierte im Vogelschutz und in der Nachtigallenbesteuerung kein staatliches Modell, sondern überließ diese Bereiche der provinziellen und kommunalen Selbstverwaltung, auf die hier, in Anbetracht zahlreicher meist gleichförmig angelegter lokaler Maßnahmen, nur exemplarisch eingegangen werden kann<sup>24</sup>. Als Preußen 1866 hessen-darmstädtische Gebietsteile erwarb, beseitigte es

---

<sup>21</sup> StAM, Best. 9 a, Nr. 2922.

<sup>22</sup> Neue Beyfugen zur Sachsen-Gothaischen Landes-Ordnung, Gotha 1821, Nr. CIL.

<sup>23</sup> Ohne das Internet wäre ein solches Thema mit entlegenen Belegstellen kaum zu bearbeiten. Befragt wurden Archivportale, die über <https://de.wikisource.org/wiki/Gesetzblätter> ermittelten Ausgaben und der über alle gedruckten Recherchemöglichkeiten hinausgehende Beitrag „Nachtigallensteuer“ in Wikipedia.

<sup>24</sup> KLOSE (wie Anm. 3), S. 215–258. Eine Kabinettsordre vom 30. März 1842 ermächtigte den Innenminister, in anderen Landesteilen und Städten Polizeiverordnungen mit dem jeweiligen Orte angemessenen Sätzen zu erlassen. HStAW, Abt. 405, Nr. 4975.



sofort die Staatssteuer-Eigenschaft der Abgabe des früheren Landesherrn<sup>25</sup>. Im Königreich Hannover scheiterte der Versuch der Landeshauptstadt und zweier Nachbargemeinden, die Nachtigallenhaltung mit 10 Thl. Geldstrafe zu belegen und für Ausnahmen eine Abgabe von 5 Thl. einzuführen, 1855 am Einspruch des Innenministeriums. Die Stadt sei nicht berechtigt, gegen eine Abgabe an die Armenkasse von ihrem Verbot zu dispensieren, weil dies Rücksicht auf andere Grundsätze der Kommunalbesteuerung erfordere<sup>26</sup>. Hannover führte damals noch, trotz der Schutzverordnungen mehrerer Drosteien, im amtlichen Zolllarif Nachtigallen als Position in der Rubrik „Lebende Tiere“<sup>27</sup>.

Die Abgabe war vor allem im mitteldeutschen Raum mit vielen Singvögeln zugetanen Fürsten weit verbreitet. Der erste Punkt der Maßnahmen war ein Kopftarif für jede Nachtigall im Käfig, ungeachtet ihrer Herkunft<sup>28</sup>. Seine Höhe machte die Haltungsart unattraktiv, zumal die Belastung in der Lebensdauer des edlen Vogels von bis zu acht Jahren vermögensrelevante Höhe erreichte. 1840 hatte ein Taler (in süddeutscher Währung ab 1838:  $1\frac{3}{4}$  fl.) die Kaufkraft für  $\frac{1}{2}$  Flasche Champagner, 10 Pfund besten Rindfleisches oder 42 Pfund Roggenbrot. Am 1. Januar beginnende Steuerzyklen brachten Probleme, weil zur Steuervermeidung am Jahresende freigelassenen Vögeln der Kältetod drohte und wurden dafür zuweilen geändert. Zu dem Grundmuster der Erhebung trat fast überall als zweiter Punkt die Zuweisung der Einnahmen an soziale Zwecke hinzu.

Dass eine neue Steuer Beifall aus dem Publikum erhielt, ist eine herausragende Ausnahme. Solchen Lobpreis formulierte Friedrich Haug (1761–1829) aus Stuttgart in einem Gedicht über die Nachtigall, einem in der Romantik beliebten Thema. Unter dem Titel *Die Nachtigallen an den Großherzog von Weimar*, also an Karl August Großherzog von Sachsen-Weimar und Eisenach (reg. als Herzog 1758–1815, bis 1775 unter Vormundschaft, 1815 Großherzog, † 1828), den großen Förderer und Freund Goethes, ließ der Dichter die Vögel über die Verordnung vom 25. Juli 1826 ein Lied anstimmen:

*Fürst! Du Hort der Nachtigallen!*  
*Wenn Aurora winkt,*  
*Wenn die Sonne sinkt,*

<sup>25</sup> Gesetz-Slg. für die Königlichen Preußischen Staaten 1867, S. 1666. Vgl. HStAW, Abt. 405, Nr. 4975. Im Regierungsbezirk Kassel sah man keinen Handlungsbedarf für eine Änderung, weil die Abgabe als kommunal galt.

<sup>26</sup> Niedersächs. Landesarchiv, Abt. Hannover, Best. Hann. 80 Hannover, Nr. 15352. Die Stadt könne die Verordnung der Landdrosteien vom 29. Sept. 1844, die nur das Fangen und die Neststörung betraf, erneuern lassen. Slg. der Gesetze, Verordnungen und Ausschreiben des Königreichs Hannover 1844, S. 144.

<sup>27</sup> Von 1854 bis 1865. Vgl. etwa Gesetzslg. Hannover 1856, S. 91, 1865, S. CCIX.

<sup>28</sup> Der kurhessische Herkunftsnachweis war in der Praxis kaum durchzuführen.



*Wenn kein Sternchen blinkt,  
Soll um Deines Schlosses Hallen  
Unser Jubellied erschallen.*

*Wir, die treuen Minnesinger,  
Der Entzückung voll,  
Opfern Dir, Apoll,  
Unsers Dankes Zoll,  
Dir, Erlöser aus dem Zwinger,  
Alter Freiheit Wiederbringer!*

*Unsre Liebchen, unsre Kleinen,  
Sollen, hoher Freund,  
Dir, der Kerkern feind,  
So uns neu vereint,  
Ewig jeden Lenz erscheinen,  
Heil Dir singend, Heil den Deinen!*

*Weithin soll die Kunde hallen,  
Welch ein Los uns fiel,  
Weimar sey das Ziel,  
Weimar das Asyl,  
Kluger Wallfahrt Nachtigallen,  
Dir zum Lohn und Wohlgefallen!<sup>29</sup>*

In den Verordnungstexten war meist von „Abgabe“ die Rede<sup>30</sup>, im Verwaltungsgebrauch von „Steuer“. Als Abgabe einer wohlhabenden Minderheit dürfte die Nachtigallensteuer trotz ihrer Aufhebung zur Revolutionszeit in Altenburg, Gotha und Erfurt kaum allgemeinpolitischen Reizwert erlangt haben. Der Nebenzweck fast aller Verordnungen, das Geld nach kameralistischer Manier mit Zweckbindung der Armenpflege zukommen zu lassen<sup>31</sup> und nicht direkt dem Fiskus zuzuwenden, entzog die Steuer weitgehend sozial begründeter Kritik.

Den Zweck dieser „Schutzgebühr“, die Schädigung des Nachtigallenbestandes durch Vogelfänger und -käufer zu unterbinden, war in den knappen

<sup>29</sup> Journal für Literatur, Kunst, Luxus und Mode [Verlag des Landes-Industrie-Comptoirs zu Weimar], 1826, Nr. 96 vom 1. Dez. 1826, S. 761 f. Zum Verf. A. BECK, in: Neue Deutsche Biographie, Bd. 8, Berlin 1962, S. 89 f.

<sup>30</sup> „Steuer“ in Sachsen-Weimar 1777, Schwarzburg-Sondershausen und im Königreich Sachsen. Die moderne Unterscheidung zwischen Steuern für den Fiskus nach dem Gesamdeckungsprinzip und Abgaben mit Zweckbindung greift hier noch nicht.

<sup>31</sup> Einen Grenzfall bot Schwerin mit der am 31. Mai 1823 milden Stiftungen zufließenden Geldstrafe von 10 Thl. N<sup>2</sup>/3 bei Nichtanmeldung des Kaufs einer Nachtigall. Damit sollten Vogelfänger dinghaft gemacht werden. Systematisch-chronologisches Verzeichniß [...] der Mecklenburg-Schwerin'schen Gesetze, Wismar u. a. 1859, Nr. 2931.

Verordnungstexten nicht ausformuliert. Doch war das fiskalische Werkzeug viel wirksamer als die älteren Polizeiverbote des Fangens und der Neststörung. Als „Lenkungssteuer“, heute typisch für Apekte im Umweltrecht, senkte sie die Nachfrage nach Nachtigallen und trocknete den Markt mittelfristig aus. So wurde sie als Mittel frühen Naturschutzes am Ende überflüssig<sup>32</sup>. Die Nachtigallensteuer war kein einzelstaatliches Kuriosum<sup>33</sup>, sondern im 19. Jahrhundert ein weit verbreitetes Instrument. Der Kategorie der Luxussteuern zugerechnet, erschien sie jüngst gar in der politischen Kritik gegen ökologische Steuern, indem diesen, wie anderen Verbrauchs- und auch Lenkungssteuern, unterstellt wurde, durch außerfiskalische Ziele Steuerpläne moralisch zu verbrämen<sup>34</sup>.

Die meisten Verordnungen erledigten sich ohne förmliche Außerkraftsetzung von allein, weil sie mangels Anmeldungen der in der Haltung zu kostspieligen Nachtigallen kaum mehr angewandt wurden. Es folgten neue Vogelschutzgesetze im Reich<sup>35</sup>, welche die Nachtigall in ihrem Sommeraufenthalt vom 1. März bis zum 1. Oktober schützten und die Käfig- und Volierenhaltung heimischer Singvögel beschränkten. Zudem traten in der häuslichen Haltung an die Stelle von Nachtigallen und Sprossern andere, nicht mit Abgaben belastete Vögel wie die Kanarien aus heimischer Zucht.

---

<sup>32</sup> R. WERNSMANN: Verhaltenslenkung in einem rationalen Steuersystem (Beiträge zum Öffentlichen Recht 135), Tübingen 2005, S. 24–27. Vgl. K. TIPKE u. a.: Steuerrecht, Köln <sup>21</sup>2013, <sup>22</sup>2015, S. 69f.

<sup>33</sup> R. SAHM: Von der Aufruhrsteuer bis zum Zehnten. Fiskalische Raffinessen aus 5.000 Jahren, Wiesbaden 2014, S. 72.

<sup>34</sup> K. FRIEDRICH: Die „Ökologische Steuerreform“, in: Der Betrieb, H. 13, 2. April. 1999, S. 661–666, hier S. 661.

<sup>35</sup> Gesetze vom 22. März 1888 (RGBl., S. 111) und vom 25. Mai 1908 (RGBl., S. 314). Hierzu und zum Recht der Bundesstaaten C. R. HENNICKE: Handbuch des Vogelschutzes, Magdeburg 1912, bes. S. 376–396.

## Anhang: Deutsche Nachtigallensteuern im 19. Jh. in chronologischer Folge

Datum	Staat mit Fundstellennachweis	Betrag im Jahr	Beginn des Steuer- Zyklus	Empfänger und Zweck
1802 Sept. 28	Landgrafschaft Hessen-Kassel, ab 1803: Kurfürstentum Hessen <sup>36</sup>	1 Dukat	1. Jan., später 1. Mai	<i>ad pios usus</i> , ab 1828: Ortsarmenkasse
1807 Apr. 10	Großherzogtum Berg <sup>37</sup>	2 Thl.	15. Mai bzw. nach Meldung	Landes- Armenkasse
1809 Apr. 11	Herzogtum Sachsen-Coburg- Saalfeld <sup>38</sup> [mit Themar]. Zu beachten ist die Weitergeltung im Herzogtum Sachsen-Meiningen nach 1826.	5 fl. rhein.	Ende April nach Erstellung der Listen	Landes- und Kriegskasse; Geldbußen bei Verstößen zur Ortsarmenkasse. 1816 zur Hälfte in die Kasse des Waisenhauses, zur Hälfte an die Ortsarmenkasse
1820 Febr. 26/ 1821 März 1	Herzogtum Sachsen-Gotha: 1820 nur Stadt Gotha, 1821 im gesamten Staat. <sup>39</sup>	6 Thl.	20. Apr.	Ortsarmenkasse
1826 Juli 25	Großherzogtum Sachsen- Weimar-Eisenach <sup>40</sup>	6 Thl.	1. Mai	Ortsarmenkasse

<sup>36</sup> HLO, Bd. 8, S. 101.

<sup>37</sup> Druckstück in HStAW, Abt. 173, Nr. 1882, fol. 38 f.

<sup>38</sup> Herzogl. Sachsen-Coburg-Saalfeldisches Regierungs- und Intelligenz-Bl. 3 (1809), Sp. 167–169, Einschärfung 1811 März 3, ebd. 5 (1811), Sp. 225–228; Kassenregelung 1816 Apr. 19, Slg. der Landesgesetze und Verordnungen für das Herzogthum Coburg, Bd. 11, Coburg 1844, Nr. XLII, S. 276, Listenführung 1819 Juli 7, ebd., Nr. XLV, S. 283. Nach der Umbildung der ernestinischen Herzogtümer (1826) neu eingeführt in den Ämtern Sonnefeld und Königsberg 1830 Sept. 22. Erneuerung 1833 Apr. 9.

<sup>39</sup> Siehe oben Anm. 22.

<sup>40</sup> Großherzogl. S. Weimar-Eisenachisches Regierungs-Bl. 10 (1826), S. 238 f.

Datum	Staat mit Fundstellennachweis	Betrag im Jahr	Beginn des Steuer- Zyklus	Empfänger und Zweck
1829	Freie Hansestadt Bremen <sup>41</sup>	5 Thl.	1. Mai	Städt. Stempel- Comptoir
1834 Apr. 11	Fürstentum Schwarzburg- Sondershausen, Unterherrschaft <sup>42</sup>	2 Thl.	ab Meldung	Frauenverein
1836 Febr. 6	Herzogtum Sachsen-Gotha <sup>43</sup>	2 Thl.	ab Meldung	Ortsarmenkasse
1837 Mai 19	Herzogtum Sachsen-Altenburg <sup>44</sup>	5 Thl. (1841: 2 Thl.)	1. Jan.	Gemeinde für Versorgung der Armen
1838 Okt. 14	Fürstentum Schwarzburg- Sondershausen, Oberherrschaft <sup>45</sup>	2 Thl.	ab Meldung	Frauenverein
1841 Dez. 24	Königreich Preußen: Kein Staatsgesetz, sondern provinziale und kommunale Modelle der Selbstverwaltung, hier: Rheinprovinz, belegt etwa in Deutz. Eingeführt in ähnlicher Art in vielen Städten Brandenburgs (36) und Landgemeinden sowie in Erfurt (Prov. Sachsen). <sup>46</sup>	5 Thl.	ab Meldung, danach 1. Jan.	Ortsarmenkasse

<sup>41</sup> Finanzgesetz für 1830, in: Slg. der Verordnungen und Proclamen des Senats der freien Hansestadt Bremen 1829 (1830), S. 118. Wiederholt bis 1846, ab 1851 im Gesetzbl. der freien Hansestadt Bremen. Ebd. 1858 (1859), S. 94, mit Zusatz *und sogenannte Sprosser*.

<sup>42</sup> Erneuerung vom 14. Okt. 1838: Gesetz-Slg. für das Fürstentum Schwarzburg-Sondershausen 1838, S. 156 f.

<sup>43</sup> Erneuerung der Ordnung vom 1. März 1821: Gesetz-Slg. für das Herzogtum Gotha, Bd. 3 (1835–1838), Gotha 1839, S. 177–180; Aufhebung 1848 Aug. 11, ebd., Bd. 5 (1843–1848), Gotha 1849, S. 641–643.

<sup>44</sup> Gesetzslg. für das Herzogtum Altenburg 1837, S. 126 f.; Tarifsenkung ebd. 1841, S. 56; Aufhebung 1848 Juli 28 ebd., S. 32.

<sup>45</sup> Gesetz-Slg. für das Fürstentum Schwarzburg-Sondershausen 1838, S. 157 f.

<sup>46</sup> Erlass des Innenministers, in: Amtsbl. der Königl. Regierung zu Köln 27 (1842), Nr. 3; KLOSE (wie Anm. 3), S. 198 f. Zu Erfurt (18. Dez. 1843 bis Mai 1849): Stadtarchiv Erfurt, Akte 1-1/XICd-17, zu Potsdam 1844 WERNSMANN (wie Anm. 32), S. 25 f. Nach einer später erteilten Auskunft des Stadtarchivs Potsdam konnte der Text der Ordnung nicht ermittelt werden.

Datum	Staat mit Fundstellennachweis	Betrag im Jahr	Beginn des Steuer- Zyklus	Empfänger und Zweck
1845 Sept. 18	Herzogtum Anhalt-Bernburg <sup>47</sup>	5 Thl.	1. Jan.	Ortsarmenkasse
1853 März 19	Großherzogtum Hessen <sup>48</sup>	5 fl.	20. Apr., dann 1. Jan.	Distrikts- Steuereinnahmer
1853 Apr. 12	Herzogtum Nassau <sup>49</sup>	7 fl.	8 Tage Meldefrist, danach 1. Jan.	Lokal- Armenfonds
1855	Herzogtum Braunschweig: Keine Käfighaltung ohne polizeilichen Erlaubnisschein [= Abgabepotential, sofern die Erlaubnis an einer regelmäßigen Abgabe haftet]. <sup>50</sup>	?	?	Ausführung der angekündigten Maßnahme und Tarif nicht belegbar
1858 März 1	Fürstentum Schwarzburg- Rudolstadt <sup>51</sup>	1 Thl.	8 Tage nach Meldung	Kasse des Waisenhauses
1864 Dez. 1	Königreich Sachsen <sup>52</sup>	4 Thl.	1. Mai	Ortsarmenkasse

<sup>47</sup> Gesetzslg. für das Herzogthum Anhalt-Bernburg 8 (1845-1848), S. 34.

<sup>48</sup> Großherzogl. Hess. Regierungsbl. 1853, S. 126 f.

<sup>49</sup> Verordnungsbl. für das Herzogthum Nassau 45 (1853), S. 155 f.

<sup>50</sup> Polizeistrafgesetz, § 174: 5–10 Thl. Geldbuße für Fangen und Töten. Gesetz- und Verordnungs-Slg. für die Herzogl. Braunschweigischen Lande 52 (1855), S. 313 ff. Gebührentarif nach Auskunft von Dr. Brage Bei der Wieden, Niedersächsisches Landesarchiv, Standort Wolfenbüttel, nicht belegt.

<sup>51</sup> Gesetzslg. für das Fürstenthum Schwarzburg-Rudolstadt 19 (1858), S. 9.

<sup>52</sup> Gesetz- und Verordnungsbl. für das Königreich Sachsen 1864, S. 404 f.

# FEIERLICHE JAHRESVERSAMMLUNG KOLLOQUIUM

## Erdmessung mit Quanten und Relativität\*

JÜRGEN MÜLLER

Institut für Erdmessung, Leibniz Universität Hannover, Schneiderberg 50, D-30167 Hannover  
E-Mail: mueller@ife.uni-hannover.de

### I. Einführung

In der Physikalischen Geodäsie wird die Erde als Ganzes vermessen und die gewonnenen Daten analysiert. Dabei werden verschiedene Messverfahren eingesetzt auf der Erde und im Weltraum, und es werden unterschiedliche Phänomene erfasst, wie etwa die Figur der Erde, Schwankungen der Erdrotation oder das Schwerfeld. Der Begriff Erdmessung fasst dies recht kompakt zusammen.

Zum einen wird die Form der Erde geometrisch erfasst, also ein Abbild der Oberfläche und damit ihre Figur abgeleitet, wobei man die höchste Genauigkeit für die Standorte der so genannten geodätischen Weltraumverfahren (z.B. GNSS, VLBI, SLR) erhält. Hier werden aus Beobachtungen von Satelliten oder stellaren Objekten Koordinaten der Observatorien mit mm-Genauigkeit bestimmt. Ein bekanntes Verfahren ist GPS (Global Positioning System). Es gehört zur Gruppe der GNSS (Global Navigation Satellite Systems), deren Mikrowellen-Signale über eine Phasendifferenzmessung ausgewertet werden. GNSS werden zur weltweiten Positionierung und Navigation eingesetzt. Bei VLBI (Very Long Baseline Interferometry) wird eine ganz andere Methode angewandt: Die Interferometrie auf langen Basislinien. Die Signale ferner Radioquellen werden von mehreren Teleskopen auf der Erde empfangen. Durch die Auswertung der Differenzen der Ankunftszeiten der Signale können einerseits Erdorientierungsparameter und Stationskoordinaten im globalen terrestrischen Referenzsystem mit mm-Genauigkeit bestimmt werden und andererseits die Positionen der Radioquellen als raumfeste Referenz. Bei SLR (Satellite Laser Ranging) werden dagegen die Laufzeiten von Laserpulsen zu Satelliten und zurück mm-genau gemessen, um daraus Stationskoordinaten sowie Satellitenbahnen und Schwerfeldparameter zu bestimmen.

---

\* Der Vortrag wurde am 29.04.2016 beim Carl-Friedrich-Gauß-Kolloquium anlässlich der Jahresversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehalten.

Da man immer Objekte außerhalb der Erde (Satelliten oder Radioquellen) als äußere Referenz verwendet, lassen sich Bewegung und Rotationsschwankungen der Erde sehr gut beobachten. Aus der Analyse der Daten der geodätischen Weltraumverfahren können somit als primäre Zielparameter, neben den zuvor genannten Stationskoordinaten und ihren Geschwindigkeiten, Erdorientierungsgrößen, wie Präzession/Nutation sowie Polbewegung und Tageslängenschwankungen, abgeleitet und zugrunde liegende dynamische Prozesse untersucht werden (Seitz und Müller 2016).

Neben der geometrischen Betrachtung kann die Figur der Erde auch physikalisch definiert und bestimmt werden. Hier wird dann das räumlich und zeitlich variable Schwerefeld der Erde beobachtet, um etwa Äquipotentialflächen, z.B. das Geoid, das mit der mittleren Meeresoberfläche in Ruhe zusammenfällt, zu bestimmen. Für die langwelligen Strukturen des Schwerefeldes eignet sich wieder SLR. Für eine höhere räumliche Auflösung, also die Erfassung kleinerer Strukturen des Schwerefeldes, sowie zeitliche Änderungen wurden seit 2000 spezielle Satellitenmissionen realisiert; siehe auch Torge und Müller (2012) sowie Pail et al. (2015) und dort angegebene Referenzen. Die ESA-Mission GOCE (Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer) lieferte zwischen 2009 und 2013 Daten, die es erlaubten das Geoid mit einer Genauigkeit von 1 – 2 cm für räumliche Strukturen von 100 km auf der Erdoberfläche zu berechnen. Als primäres Messkonzept wurde die Gradiometrie realisiert; hier werden differentielle Gravitationsbeschleunigungen im Satelliten mit höchster Präzision beobachtet (Rummel et al. 2011). GOCE liefert damit die Grundlage zur Errichtung globaler, physikalisch definierter Höhensysteme sowie – zusammen mit der altimetrischen Bestimmung des Meeresspiegels – zur genauen Ableitung von Meeresströmungen. Die Mission GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment), geleitet von NASA und DLR, ist seit 2002 im Orbit. Messmethode ist das Satellite-to-Satellite-Tracking, wobei die variierenden Abstände zwischen den beiden Satelliten mit Hilfe eines Mikrowellensystems mit  $\mu\text{m}$ -Genauigkeit beobachtet werden. GRACE liefert monatliche Schwerefelder und erlaubt somit, zeitliche Variationen zu analysieren, deren Ursache etwa im Abschmelzen der Eismassen der großen kontinentalen Schilde (Grönland, Antarktis) liegt; allein in Grönland beträgt der Eismassenverlust 200 bis 300 Gigatonnen pro Jahr. Ein anderes Anwendungsbeispiel ist die Erfassung von Veränderungen im hydrologischen Wasserkreislauf, z.B. durch übermäßige Grundwasserentnahme im Iran oder Nordindien für Bewässerungszwecke; exemplarisch sei Eicker et al. (2016) genannt.

Da bei den bisherigen Satellitenmissionen weder die räumliche noch zeitliche Auflösung ausreicht, um die Anforderungen in den diversen Geo-Disziplinen zu erfüllen und die komplexen, interagierenden Prozesse zu verstehen (Pail et al. 2015), werden bereits Konzepte für Nachfolgemissionen entwickelt und teilweise umgesetzt. Ziel ist es, eine höhere Auflösung, eine größere Genauigkeit und generell längere Zeitreihen zu erhalten (NGGM-D 2014, Elsaka et al. 2014).

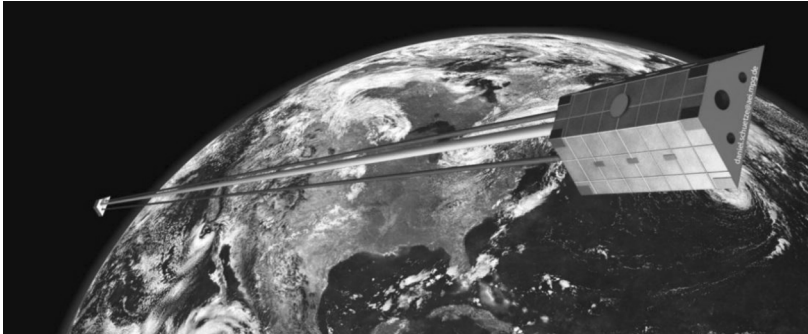


Abb. 1: Künstlerische Darstellung der GRACE-FO-Mission; illustriert sind die Mikrowellenabstimmung zwischen den beiden Satelliten, wie sie auch bei GRACE realisiert wurde (der mittlere Strahl), sowie die neuartige Laserinterferometrie (die beiden außen verlaufenden Strahlen). © Earth: NASA “Blue Marble”, satellites: Schütze/AEI.

Bei einer dieser Missionen, GRACE-FO, soll der Abstand zwischen den beiden Satelliten mittels Laserinterferometrie nanometer-genau gemessen werden (Sheard et al. 2012, Abb. 1), wobei auch Technologie aus Hannover zum Einsatz kommt, die ursprünglich im Hinblick auf die Gravitationswellendetektion entwickelt wurde.

Die ganz feinen Strukturen im Schwerfeld kann man nicht vom Weltraum aus erfassen, sie werden durch terrestrische Messungen ergänzt. Hier kommen Gravimeter, wie das FG5X von Micro-g LaCoste (Abb. 2), zum Einsatz. Über gleichzeitige Zeit- und Abstandsmessung eines in einer Vakuumröhre frei fallenden Reflektors wird mit Laserinterferometrie der lokale Schwerewert  $g$  bestimmt. Man erreicht Genauigkeiten von ca.  $2 \mu\text{gal}$  ( $= 20 \text{ nm s}^{-2}$ ), wobei man dafür etwa 2 Tage beobachten muss, um systematische Fehler, z.B. aufgrund seismischer Störungen, zu reduzieren. Aus Wiederholungsmessungen lassen sich für den Aufstellungsort zeitabhängige Massenvariationen bestimmen. Ein Beispiel ist die fennoskandische Landhebung, die über mehrjährige Messkampagnen (Gitlein 2009) erfasst wurde. Vergleiche mit GRACE-Analysen (Steffen et al. 2009, Timmen et al. 2011) zeigen noch Differenzen (Abb. 3), speziell in den Randbereichen, in denen die Signale geringer sind. Um das Phänomen als Ganzes zu verstehen, sind die diversen Datentypen zu kombinieren (Müller et al. 2012). Die skandinavischen Kollegen haben auch geometrische GNSS-Beobachtungen und Nivellements in die Lösung für ihr neues Landhebungsmodell NKG2016LU integriert (Vestøl et al. 2016).

Um nun noch höhere Genauigkeiten oder eine bessere Auflösung zu erreichen, wurde in den letzten Jahren an ganz neuen Messkonzepten auf der Erde und im





Abb. 2: Absolutgravimeter FG5X-220 des Instituts für Erdmessung bei einer Messung an der TU Clausthal, Institut für Geophysik. © IfE.

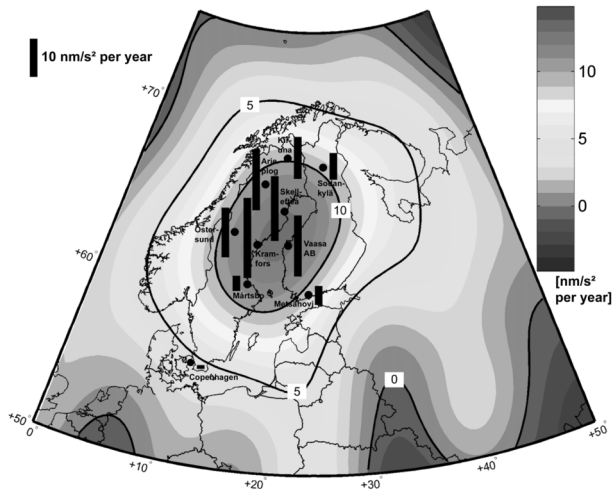


Abb. 3: Nacheiszeitlicher Ausgleichsprozess in Skandinavien; hinterlegt sind die aus GRACE abgeleiteten Massenvariationen; die schwarzen Balken geben die in einzelnen Punkten mittels terrestrischer Absolutgravimetrie gemessenen Werte an (Gitlein 2009).

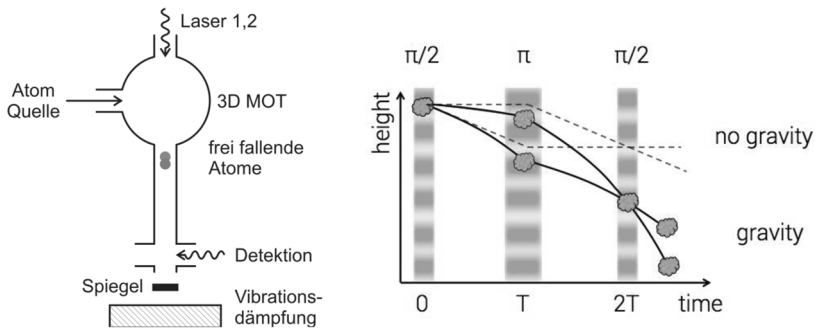


Abb. 4: Links: Schematischer Aufbau eines Atomgravimeters (aus Schilling et al. 2012), rechts: Schema der Atominterferometrie für die Bestimmung der Schwerebeschleunigung  $g$  (Rasel 2014, priv. Komm.)

Weltraum gearbeitet. Die Nutzung der Laserinterferometrie im Weltraum zur präzisen Abstandmessung zwischen zwei Satelliten wurde bereits erwähnt (siehe z.B. auch Reubelt et al. 2014). Der Kern einer weiteren Methode ist die Atominterferometrie, die zur Schweremessung genutzt werden kann, indem man frei fallende Atome beobachtet. Außerdem können mit Hilfe präziser Atomuhren unter Ausnutzung der Relativitätstheorie Potentialunterschiede im Schwerfeld gemessen werden. Die beiden zuletzt genannten innovativen Methoden werden im Folgenden näher erläutert.

## II. Atominterferometrische Gravimetrie

Bei einem Quantengravimeter lässt man nicht makroskopische Objekte wie Retroreflektoren fallen, sondern Atome oder Atomwolken; für eine relativ einfache Beschreibung siehe Schilling et al. (2012). Die Atome werden zunächst stark gekühlt, um sie besser kontrollieren zu können (Abb. 4).

Die Atome werden in einer magneto-optischen Falle („MOT“) gefangen und auf wenige  $\mu$ Kelvin gekühlt. Nach Abschalten der Falle beginnt der freie Fall in einer evakuierten Fallkammer. Die Atome werden mit einem Puls zweier gegenläufiger Laserstrahlen manipuliert, was zum Aufteilen der Atome führt (etwa die Hälfte der Atome laufen dann statistisch auf einem anderen Weg); der Laserimpuls fungiert dabei wie ein Strahlteiler bei der klassischen Interferometrie. Nach einer gewissen Zeit  $T$  werden die Atome wieder mit einem Laserpuls „abgelenkt“ (der Spiegel des Interferometers), so dass sie sich nach der Zeit  $2T$  treffen und interferieren (der abschließende Strahlteiler). Die beobachtete Phasenverschiebung  $\Delta\varphi$  ist dann direkt proportional der lokalen Schwerebeschleunigung

$\mathbf{g}$  ( $\mathbf{k}_{eff}$  ist der effektive Wellenvektor des Laserlichtes, der senkrecht auf der Wellenfront steht):

$$\Delta\varphi = -\mathbf{k}_{eff}\mathbf{g}T^2. \quad (1)$$

Der Vorteil einer atominterferometrischen Schweremessung besteht darin, dass manche systematische Effekte geringer sind, da man keine großen fallenden Objekte hat, die zu Störungen führen. Man kann einen Schwerewert  $g = |g|$  innerhalb weniger Minuten mit hoher Genauigkeit von 1  $\mu\text{gal}$  erhalten. Die schnellere Vermessung ermöglicht neue Beobachtungskonzepte. Aktuelle Entwicklungen laufen an der Leibniz Universität Hannover sowie an der Humboldt Universität Berlin (Hauth et al. 2013, Rudolph et al. 2015). Die französische Firma  $\mu\text{quans}$  verkauft sogar schon robuste Quantengravimeter ([www.muquans.com](http://www.muquans.com)). Das Berliner Instrument GAIN arbeitet nach dem Wurf-Prinzip. Vergleichsmessungen mit klassischen Gravimetern, etwa 2015 in Onsala (Freier et al. 2016), zeigen das hohe Potential atominterferometrischer Gravimeter deutlich (Abb. 5). Man kann sie sowohl als Absolutgravimeter einsetzen, die einen absoluten lokalen Schwerewert  $g$  in sehr kurzer Zeit liefern, wie auch als registrierende Gravimeter, um über einen längeren Zeitraum Schwerevariationen zu erfassen. Somit verknüpft dieser neuartige Gravimetertyp die Vorteile von Absolut- und supraleitenden Gravimetern in einem Gerät. Dieses Messkonzept könnte außerdem aufgrund seiner Qualitäten künftig als neuer Standard für Schweremessungen

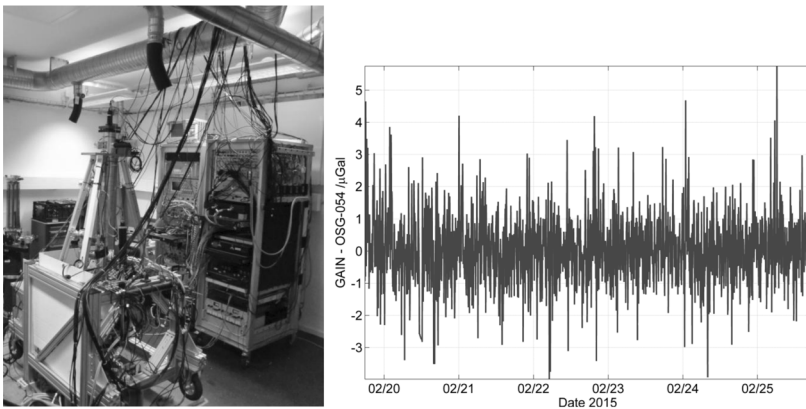


Abb. 5: Links: Das Quantengravimeter GAIN während der Messung in Onsala (links im Hintergrund das FG5X-220); rechts: Vergleichsmessung zu einem Supraleitgravimeter, die Differenz entspricht einer Messgenauigkeit der Schwere  $g$  von 1  $\mu\text{gal}$  über 5 Minuten (Freier (HU Berlin) und Schilling 2015, priv. Komm.)

dienen und würde auch die präzise Bestimmung von Kalibrierparametern für supraleitende Gravimeter mit besserer Genauigkeit erlauben.

Diese Messtechnologie basierend auf Atominterferometrie liefert nicht nur Schwerebeschleunigungen, sondern kann in einem entsprechenden Aufbau auch kinematische Beschleunigungen, inklusive Rotationsbeschleunigungen erfassen, was wiederum interessante Anwendungen in der Navigation eröffnet. Der große Vorteil hier ist, dass die Atominterferometrie im idealen Fall keine Drift-Probleme hat (Tackmann et al. 2014).

Weitere Studien (z.B. Carraz et al. 2015) zeigen das Potential dieser Methode als Gradiometer für künftige Schwerefeldsatellitenmissionen. So könnte eine Nachfolge-Mission von GOCE dieses Messprinzip realisieren.

### III. Relativistische Geodäsie

Als weiteres innovatives Konzept in der Geodäsie bieten sich hochpräzise Uhren für die Schwerefeldbestimmung an. Die Gangraten der Uhren hängen gemäß der Einsteinschen Theorie vom Gravitationspotential  $U$  am Ort der Uhr und von deren Geschwindigkeit  $v$  ab (Einstein 1916, Moyer 1981). Es gilt für das Verhältnis der Eigenzeit  $t$  der Uhr und der Koordinatenzeit  $t$  in erster nach-Newtonscher Näherung:

$$\frac{d\tau}{dt} = 1 - \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} - \frac{U}{c^2}. \quad (2)$$

$c$  ist die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum. Diese Zusammenhänge sind längst bekannt und werden etwa auch in der Auswertung der geodätischen Weltraumverfahren berücksichtigt, bei GNSS sogar hardwaremäßig korrigiert (Ashby 2002). Inzwischen ist die Genauigkeit der Uhren, speziell optischer Uhren, so hoch, dass man grundsätzlich einen Gangratenunterschied der Uhren aufgrund der Änderung des Schwerepotentials bei einer Höhenvariation von wenigen Zentimetern messen kann (Nicholson et al. 2015, Lisdat et al. 2015). Auf diese Möglichkeit hat bereits Bjerhammar (1985) hingewiesen, der auch den Begriff ‚chronometric leveling‘ für dieses Verfahren einführte; siehe auch Petit und Wolf (1997), Mai (2013) sowie Mai und Müller (2013).

Betrachtet man das Eigenzeitverhalten zweier Uhren, die sich auf der Erdoberfläche befinden, und fasst den Anteil aufgrund der Rotationsgeschwindigkeit der Erde am jeweiligen Uhrenstandort und das zugehörige Gravitationspotential zum Schwerepotential  $W$  zusammen, erhält man

$$\frac{d\tau_1}{d\tau_2} = 1 - \frac{\Delta W_{12}}{c^2}. \quad (3)$$

$\Delta W_{12} = W_{P1} - W_{P2}$  gibt die Schwerepotentialdifferenz zwischen den beiden Uhrstandorten an. Hilfreich ist es oft, statt der Eigenzeiten die zugehörigen Eigenfrequenzen zu betrachten, die sich in der Praxis einfacher vergleichen lassen. Sie sind indirekt proportional zu den Eigenzeiten:

$$\frac{df_2}{df_1} = 1 - \frac{\Delta W_{12}}{c^2}. \quad (4)$$

Klassischerweise werden in der Geodäsie physikalische Höhen, also solche Höhen, die einen Bezug zum Erdschwerefeld haben, aus kombinierten Nivellements und Schweremessungen bestimmt. Zunächst wird aus den nivellierten Höhenunterschieden  $\Delta n$  und den Schweremessungen  $g$  entlang der Nivellementsline eine so genannte geopotentielle Kote berechnet:

$$C_P = \int_0^P g dn = \sum_0^P g \Delta n. \quad (5)$$

Die geopotentiellen Kote entspricht der Differenz des Schwerepotentials  $W$  zwischen dem Geoid und dem Punkt  $P$ , also  $C_P = W_0 - W_P$ . In der Praxis treten mit dieser Methode nun diverse Probleme auf: Die Fehler des Nivellements wachsen mit der Entfernung; während die Genauigkeit über kurze Distanzen noch im Sub-Millimeterbereich liegt, kann sie über 1000 km in den Zentimeter- und Dezimeterbereich ansteigen. Die Nivellements in größeren Gebieten, z.B. den Bundesländern in Deutschland, wurden zu ganz unterschiedlichen Epochen beobachtet; es können Jahrzehnte dazwischen liegen, was zu systematischen Effekten führen kann. Schließlich ist anzumerken, dass das Verfahren sehr zeitaufwendig ist, wenn man große Entfernungen und/oder Höhenunterschiede überbrücken möchte. Dies potenziert sich noch, falls Höhenänderungen erwartet werden und man Wiederholungsmessungen durchführen muss (Feldmann-Westendorff et al. 2016).

Die in Deutschland gebräuchliche Normalhöhe  $H^N$  ist für einen Oberflächenpunkt  $P$  definiert (Torge und Müller 2012) gemäß

$$H^N = \frac{C_P}{\bar{\gamma}}. \quad (6)$$

Die geopotentielle Kote  $C_P$  wird hier durch die mittlere Normalschwere  $\bar{\gamma}$  dividiert, die entlang der Normallotlinie zum Ellipsoid gegeben ist. Meist werden

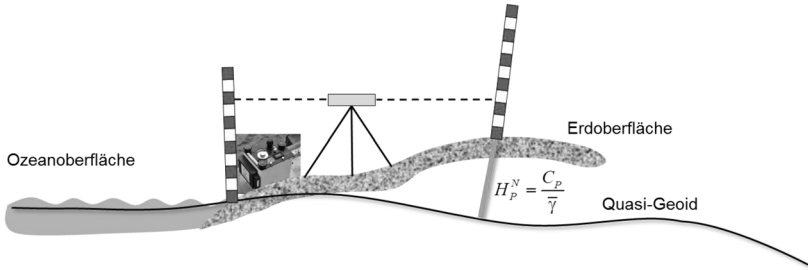


Abb. 6: Definition der Normalhöhe und Messung mittels Nivellement und Gravimetrie. Das Quasi-Geoid ist die Höhenbezugsfläche für Normalhöhen. Es ist eine Näherung an das Geoid, die sich durch die Lösung der Randwertaufgabe nach Molodenskii ergibt (Torge und Müller 2012). Das Quasigeoid stimmt auf dem Ozean praktisch mit dem Geoid überein.

Differenzen zwischen zwei Punkten verwendet, da man bei einem bekannten Höhenpunkt anschließen kann. Dann werden nur noch Differenzen von geopotentiellen Knoten  $\Delta C_{21} = C_{P2} - C_{P1}$  benötigt, die bis auf das Vorzeichen wiederum identisch mit den Schwerepotentialunterschieden  $\Delta W_{21} = -\Delta C_{21}$  sind. Für die Höhendifferenz zwischen zwei Punkten gilt somit ( $\Delta \bar{\gamma}_{12} = \bar{\gamma}_{P1} - \bar{\gamma}_{P2}$ )

$$\Delta H_{21}^N = H_2^N - H_1^N = H_1^N \frac{\Delta \bar{\gamma}_{12}}{\bar{\gamma}_2} + \frac{\Delta C_{21}}{\bar{\gamma}_2} \quad (7)$$

bzw. für den ‚Neupunkt‘  $P_2$

$$H_2^N = H_1^N \frac{\bar{\gamma}_1}{\bar{\gamma}_2} - \frac{\Delta W_{21}}{\bar{\gamma}_2}. \quad (8)$$

Die Potentialunterschiede  $\Delta W_{21} = W_{P2} - W_{P1}$  können gemäß Gleichung (4) aus Frequenzunterschieden  $\Delta f_{21} = f_{P2} - f_{P1}$ , die mit hochpräzisen Uhren gemessen werden, gewonnen werden, und man erhält schließlich

$$H_2^N = H_1^N \frac{\bar{\gamma}_1}{\bar{\gamma}_2} - \frac{c^2}{\bar{\gamma}_2} \frac{\Delta f_{21}}{f_1}. \quad (9)$$

Wenn die relative Frequenz  $\Delta f_{21}/f_1$  mit einer Genauigkeit von  $10^{-18}$  gemessen wird, entspricht dies einer Höhengengenauigkeit von 1 cm. Viele der oben beim Nivellement angesprochenen Fehlerquellen spielen hier keine Rolle mehr. Die Genauigkeit der Schwerepotentialmessung mit Uhren ist unabhängig von der Entfernung. Es wurde außerdem gezeigt, dass die Verbindung der Uhren für

kontinentale Entfernungen mit hinreichender Genauigkeit über Glasfaserkabel realisiert werden kann (Droste et al. 2013), dadurch also keine weiteren Fehler auftreten. Weiterhin kann mit Hilfe dieses Messverfahrens die Qualität der gängigen Methoden der Geoid- bzw. Quasi-Geoid-Bestimmung (geometrisch versus gravimetrisch) kontrolliert werden, siehe z.B. Denker et al. (2015).

Bei den Uhrenvergleichen – gerade bei diesem Genauigkeitsniveau – ist aus geodätischer Sicht noch darauf zu achten, jegliche zeitvariablen Anteile, die an den verschiedenen Uhrenstandorten unterschiedlich wirken, konsistent zu korrigieren. Zum Beispiel macht der Effekt durch die festen Erdgezeiten zwischen Braunschweig und London 8 cm aus, was deutlich über der oben genannten Genauigkeit liegt (Voigt et al. 2016, worin auch weitere Effekte diskutiert werden).

Sollen Uhren während des Transports (mit dem Auto oder Schiff) verglichen werden, was technisch nochmals anspruchsvoller ist als feststehende Uhren, sind weitere relativistische Terme, wie der Sagnac-Effekt, zu berücksichtigen. Denker und Svitlov (2016, priv. Komm.) haben für eine Uhr, die mit dem Auto (durchschnittliche Geschwindigkeit 80 km/h) von Braunschweig nach Paris gebracht wird, einen Effekt von ca. 2 ns ausgerechnet, um den die bewegte Uhr gegenüber einer auf dem Geoid ruhenden Uhr „vorgeht“.

In 10 Jahren erwartet man, dass man transportable Uhren hat, mit denen die Messung von Höhenunterschieden mit 1 cm Genauigkeit möglich ist. Weiterhin wird es mobile, optische Uhren geben, die während des Transportes, z.B. auf Schiffen, laufen und kontinuierlich mit einer feststehenden Uhr verglichen werden können. Ebenso wird es Uhren im Weltraum geben, die via Satelliten-Links miteinander verbunden sind. Mit dieser Technologie wird das chronometrische Nivellement als Standard-Technik für die Höhenbestimmung in der Geodäsie etabliert sein, und man wird über neue Konzepte zur Realisierung eines Welthöhensystems basierend auf Frequenzen nachdenken. Darüber hinaus werden sich noch weitere Anwendungsmöglichkeiten entwickeln, etwa Kontrollmessungen von Meeresspiegelvariationen auf Schiffen usw.

#### **IV. Zusammenfassung und Ausblick**

Die genannten Entwicklungen zur atominterferometrischen Schweremessung und zur Erfassung von Schwerepotentialdifferenzen mit präzisen optischen Uhren haben einen Denkprozess in der Geodäsie gestartet. Mittels fallender Atome oder aus der variierenden Tickrate von Uhren die Schwerkraft auszumessen, was zunächst utopisch klingt, ist Realität geworden. Durch die gezielte Nutzung dieser neuen Technologien lassen sich neue Messkonzepte etablieren, die deren Vorteile (wie gleichzeitige Absolut- und Relativgravimetrie oder direkte Messung von Potentialdifferenzen) ausnutzen. Nur die enge interdisziplinäre Koope-

ration zwischen Physik und Geodäsie erlaubt eine optimale Gestaltung solcher neuer verbesserter Messmethoden für die Schwerefeldbestimmung. Durch die konsequente Anwendung der Quantenphysik und der Relativitätstheorie werden neue Werkzeuge für die Erdbeobachtung entstehen, die für nahezu alle Geo-Disziplinen vorteilhaft sein werden. Der Geodäsie kommt hier eine entscheidende Rolle zu, um dieses Potential wirklich auszuschöpfen.

Grundlegende Arbeiten in diesem Sinne laufen im DFG-Sonderforschungsbereich SFB 1128 ‚Relativistic Geodesy and Gravimetry with Quantum Sensors (geo-Q)‘ an der Leibniz Universität Hannover. Die erste Phase des SFB 1128, dessen Sprecher Jakob Flury vom Institut für Erdmessung ist, hat im Oktober 2014 begonnen, weitergehende Informationen finden sich auf [www.geoq.uni-hannover.de](http://www.geoq.uni-hannover.de).

## Dank

Ein großer Dank für die vielfältigen Forschungsarbeiten in den angesprochenen Themenbereichen geht an meine Kollegen von Institut für Erdmessung (IfE). Teile der Arbeit im Zusammenhang mit dem Quantengravimeter GAIN wurden nur durch die gute Kooperation mit den Kollegen Peters und Freier von der Humboldt Universität Berlin ermöglicht. Finanziell unterstützt wurden die Arbeiten dankenswerterweise, unter anderem, von der DFG, etwa im zuvor genannten SFB 1128 oder im Rahmen des Exzellenzcluster QUEST an der Leibniz Universität Hannover.

## Literatur

- ASHBY, N. (2002): Relativity and the Global Positioning System. – *Physics Today* **55**(5): 41–47, DOI: 10.1063/1.1485583.
- BJERHAMMAR, A. (1985): On a relativistic geodesy. – *Bulletin géodésique* **59**: 207–220.
- CARRAZ, O., C. SIEMES, L. MASSOTTI, R. HAAGMANS & P. SILVESTRIN (2015): A Spaceborne Gradiometer Concept Based on Cold ATOM Interferometers for Measuring Earth’s Gravity Field. – *Microgravity Sci. Technol.* **26**: 139–145, DOI: 10.1007/s12217-014-9385-x.
- DENKER, H., L. TIMMEN & C. VOIGT (2015): Gravity field modelling for optical clock comparisons, 26th General Assembly of International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG), June 22 – July 2, Prague, Czech Republic .
- DROSTE, S., F. OZIMEK, TH. UDEM, K. PREDEHL, T.W. HÄNSCH, H. SCHNATZ, G. GROSCHE & R. HOLZWARTH (2013): Optical-Frequency Transfer over a Single-Span 1840 km Fiber Link. – *Phys. Rev. Lett.* **111**: 110801, DOI: 10.1103/PhysRevLett.111.110801.



EICKER, A., E. FOROOTAN, A. SPRINGER, L. LONGUEVERGNE & J. KUSCHE (2016): Does GRACE see the terrestrial water cycle ,intensifying‘? – *Journal of Geophysical Research – Atmosphere* **121**(2): 733–745.

EINSTEIN, A. (1916): Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie. *Annalen der Physik*, Verlag von Johann Ambrosius Barth, Leipzig, **49**: 769–821.

ELSAKA, B., J. RAIMONDO, P. BRIEDEN, T. REUBELT, J. KUSCHE, F. FLECHTNER, S. IRAN POUR, N. SNEEUW & J. MÜLLER (2014): Comparing seven candidate mission configurations for temporal gravity field retrieval through full-scale numerical simulation. – *Journal of Geodesy*, **88**(1): 31–43, DOI: 10.1007/s00190-013-0665-9.

FELDMANN-WESTENDORFF, U., G. LIEBSCH, M. SACHER, J. MÜLLER, C. JAHN, W. KLEIN, A. LIEBIG, & K. WESTPHAL (2016): Das Projekt zur Erneuerung des DHHN: Ein Meilenstein zur Realisierung des integrierten Raumbezugs in Deutschland. – *zfv* 5/2016, **141**. Jahrgang: 354–367.

FREIER, C., M. HAUTH, V. SCHKOLNIK, B. LEYKAUF, M. SCHILLING, H. WZI-ONTEK, H. SCHERNECK, J. MÜLLER & A. PETERS (2016): Mobile quantum gravity sensor with unprecedented stability. – *Journal of Physics: Conference Series* **723**: 012050, DOI: 10.1088/1742-6596/723/1/012050.

GITLEIN, O. (2009): Absolutgravimetrische Bestimmung der Fennoskandischen Landhebung mit dem FG5-220. – *Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Geodäsie und Geoinformatik der Universität Hannover*, Nr. 281.

HAUTH, M., C. FREIER, V. SCHKOLNIK, A. SENGER, M. SCHMIDT & A. PETERS (2013): First gravity measurements using the mobile atom interferometer GAIN. – *Applied Physics B* **113**: 49–55, DOI: 10.1007/s00340-013-5413-6.

LISDAT, C., G. GROSCHE, N. QUINTIN, C. SHI, C.S.M.F. RAUPACH, C. GREBING, D. NICOLodi, F. STEFANI, A. AL-MASOUDI, S. DÖRSCHER, S. HÄFNER, J.L. ROBYR, N. CHIODO, S. BILICKI, E. BOOKJANS, A. KOCZWARA, S. KOKE, A. KUHL, F. WIOTTE, F. MEYNADIER, W. CAMISARD, M. ABGRALL, M. LOURS, T. LEGERO, H. SCHNATZ, U. STERR, H. DENKER, C. CHARDONNET, Y. LE COQ, G. SANTARELLI, A. AMY-KLEIN, R. LE TARGAT, J. LODEWYCK, O. LOPEZ & P.-E. POTTIE (2015): A clock network for geodesy and fundamental science. – *arXiv*: 1511.07735 .

MAI, E. (2013): Time, Atomic Clocks, and Relativistic Geodesy. – *DGK, Reihe A*, Nr. 124, Beck, München, <http://dgk.badw.de/fileadmin/docs/a-124.pdf>.

MAI, E. & J. MÜLLER (2013): General Remarks on the Potential Use of Atomic Clocks in Relativistic Geodesy. – *zfv* 4/2013, **138**. Jahrgang: 257–266.

MOYER, T.D. (1981): Transformation from proper time on Earth to coordinate time in solar system barycentric space-time frame of reference. – *Celestial Mechanics* **23**: 33–56, DOI: 10.1007/BF01228543.

MÜLLER, J., M. NAEIMI, O. GITLEIN, L. TIMMEN & H. DENKER (2012): A land uplift model in Fennoscandia combining GRACE and absolute gravimetry data. – *Physics and Chemistry of the Earth*, **53**: 54–60, DOI: 10.1016/j.pce.2010.12.006.

NGGM-D Team with contributions by M. BALDESARRA, P. BRIEDEN, K. DANZMANN, I. DARAS, B. DOLL, D. FEILI, F. FLECHTNER, J. FLURY, T. GRUBER, G. HEINZEL, S. IRAN POUR, J. KUSCHE, M. LANGEMANN, A. LÖCHER, J. MÜLLER, V. MÜLLER, M. MURBÖCK, M. NAEIMI, R. PAIL, J.C. RAIMONDO, J. REICHE, T. REUBELT, B. SHEARD, N. SNEEUW & X. WANG (2014): *e<sup>2</sup>.motion – Earth System Mass Transport Mission (Square) – Concept for a Next Generation Gravity Field Mission – Final Report of Project “Satellite Gravimetry of the Next Generation (NGGM-D)”*, DGK Reihe B, Nr. 318, München, ISBN 978-3-7696-8597-8, [www.dgk.badw.de/fileadmin/docs/b-318.pdf](http://www.dgk.badw.de/fileadmin/docs/b-318.pdf).

NICHOLSON, T.L., S.L. CAMPBELL, R.B. HUTSON, G.E. MARTI, B.J. BLOOM, R.L. MCNALLY, W. ZHANG, M.D. BARRETT, M.S. SAFRONOVA, G.F. STROUSE, W.L. TEW & J. YE (2015): Systematic evaluation of an atomic clock at  $2 \times 10^{-18}$  total uncertainty. – *Nature Communications* **6**, Article number 6896, DOI: 10.1038/ncomms7896.

PAIL, R. & IUGG WRITING TEAM (2015): Observing Mass Transport to Understand Global Change and Benefit Society: Science and User Needs, An international multi-disciplinary initiative for IUGG; in: PAIL, R. (eds.) *Deutsche Geodätische Kommission der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Reihe B, Angewandte Geodäsie*, 2015, Heft 320, Verlag der Bayerischen Akademie der Wissenschaften in Kommission beim Verlag C.H. Beck, ISBN (Print) 978-3-7696-8599-2, ISSN 0065-5317.

PETIT, G. & P. WOLF (1997): Computation of the relativistic rate shift of a frequency standard. – *IEEE Trans. IM* **46**(2): 201–204.

REUBELT, T., N. SNEEUW, S. IRAN POUR, M. HIRTH, W. FICHTER, J. MÜLLER, P. BRIEDEN, F. FLECHTNER, J.C. RAIMONDO, J. KUSCHE, B. ELSAKA, TH. GRUBER, R. PAIL, M. MURBÖCK, B. DOLL, R. SAND, X. WANG, V. KLEIN, M. LEZIUS, K. DANZMANN, G. HEINZEL, B. SHEARD, E. RASEL, M. GILOWSKI, C. SCHUBERT, W. SCHÄFER, A. RATHKE, H. DITTUS & I. PELIVAN (2014): Future Gravity Field Satellite Missions. In: FLECHTNER, F., N. SNEEUW, W.D. SCHUH (eds.) *Observation of the System Earth from Space – CHAMP, GRACE, GOCE and future missions. – Geotechnologies Science Report* **20**: 165–230, Springer, ISBN (Print) 978-3-642-32134-4, ISBN (Online) 978-3-642-32135-1, ISSN 2190-1635, ISSN (Online) 2190-1643.

RUDOLPH, J., W. HERR, C. GRZESCHIK, T. STERNKE, A. GROTE, M. POPP, D. BECKER, H. MÜNTINGA, H. AHLERS, A. PETERS, C. LÄMMERZAHN, K. SENGSTOCK, N. GAALLOUL, W. ERTMER & E.M. RASEL E.M. (2015): A high-flux BEC source for mobile atom interferometers. – *New J. Phys.* **17**: 065001.

RUMMEL, R., W. YI & C. STUMMER, C. (2011): GOCE gravitational gradiometry. – *Journal of Geodesy* **85**: 777–790, DOI: 10.1007/s00190-011-0500-0.

SCHILLING, M., J. MÜLLER & L. TIMMEN (2012): Einsatz der Atominterferometrie in der Geodäsie. – zfv 3/2012, **137**: Jahrgang: 185–194.

SEITZ, F. & J. MÜLLER (2016): Erdrotation. Buchkapitel im „Handbuch der Geodäsie“, Band „Erdmessung und Satellitengeodäsie“ (Hrsg. R. RUMMEL) – Springer, Berlin, S. 1–29, DOI: 10.1007/978-3-662-46900-2\_12-2.

SHEARD, B., G. HEINZEL, K. DANZMANN, D. SHADDOCK, W. KLIPSTEIN & W. FOLKNER (2012): Intersatellite laser ranging instrument for the GRACE follow-on mission. – J. Geod. **86**(12): 1083–1095.

STEFFEN, H., O. GITLEIN, H. DENKER, J. MÜLLER & L. TIMMEN (2009): Present rate of uplift in Fennoscandia from GRACE and absolute gravimetry. – Tectonophysics **474**: 69–77, DOI: 10.1016/j.tecto.2009.01.012.

TACKMANN, G., P. BERG, S. ABEND, C. SCHUBERT, W. ERTMER & E.M. RASEL (2014): Large-area Sagnac atom interferometer with robust phase read out. – Comptes Rendus Physique **15**: 884–897, DOI: 10.1016/j.crhy.2014.10.001.

TIMMEN, L., O. GITLEIN, V. KLEMANN & D. WOLF (2011): Observing gravity change in the Fennoscandian uplift area with the Hanover absolute gravimeter, In: Deformation and gravity change: indicators of isostasy, tectonics, volcanism and climate change Vol. III, Pure Appl. Geophys. (PAGEOPH), Springer Basel AG, DOI: 10.1007/s00024-011-0397-9.

TORGE, W. & J. MÜLLER (2012): Geodesy. – 4th edition, de Gruyter, Berlin/Boston.

VESTØL, O., J. ÅGREN, H. STEFFEN, H. KIERULF, M. LIDBERG, T. OJA, A. RÜDJA, T. KALL, V. SAARANEN, K. ENGSAGER, C. JEPSEN, I. LIEPINS, E. PARŠELIŪNAS & L. TARASOV (2016): NKG2016LU, an improved postglacial land uplift model over the Nordic-Baltic region. Presentation at NKG WG meeting in Tallinn, 12–18 March 2016.

VOIGT, C., H. DENKER & L. TIMMEN (2016): Time-variable gravity potential components for optical clock comparisons and the definition of international time scales. – Metrologia **53**: 1365–1383, DOI: 10.1088/0026-1394/53/6/1365.

# FESTVERSAMMLUNG IM ALTSTADTRATHAUS

## Begrüßung

DIETMAR BRANDES

Präsident der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

Hohe Festversammlung,  
verehrte Gäste,  
meine sehr geehrten Damen und Herren,

zur Jahresversammlung 2016 der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft darf ich Sie alle sehr herzlich begrüßen und in der Dornse des Altstadtrathauses willkommen heißen. Mit Ihrer Anwesenheit beweisen Sie wieder Ihr Interesse an unserer Institution und an unserer Arbeit. Für diese Verbundenheit bin ich Ihnen dankbar.

Der wissenschaftliche Kern unserer Festveranstaltung ist seit 68 Jahren die Verleihung der Carl Friedrich Gauß-Medaille für herausragende wissenschaftliche Leistungen. Für das Jahr 2016 hat das Konzil der BWG auf Vorschlag der Klasse für Ingenieurwissenschaften einen Geodäten ausgewählt. Es ist dies:

Herr Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. **Reiner Rummel**,  
Professor für Astronomische und Physikalische Geodäsie an der Technischen  
Universität München

Ich darf Sie, sehr geehrter Herr Kollege Rummel, Ihre Frau und Ihre Kollegen hier besonders herzlich begrüßen und Ihnen danken, dass Sie zur Entgegennahme der Auszeichnung nach Braunschweig gekommen sind. Ich hoffe und wünsche, dass Sie sich in unserer Mitte wohl fühlen werden. Ebenso darf ich auch die Vortragenden des Gauß-Kolloquiums, das wir heute Morgen veranstaltet haben, begrüßen.

Damit Sie – und auch alle Gäste erfahren –, in welchem Kreis sie sich befinden, darf ich nun einige Gäste namentlich begrüßen.

Mein erster besonderer Gruß gilt Herrn Oberbürgermeister **Ulrich Markurth**, Ich danke Ihnen, lieber Herr Markurth, nicht nur für Ihre Teilnahme an der feierlichen Jahresversammlung, sondern ebenso auch für Ihr Grußwort. Wir sind der Stadt Braunschweig sehr dankbar, dass wir uns unseren Gästen in diesen historischen Räumen präsentieren dürfen und auch sonst in vielfältiger Weise die Unterstützung der Stadt erfahren.

Ebenso begrüße ich unsere Bundestagsabgeordnete Frau **Dr. Carola Reimann**, stellvertretende Vorsitzende der SPD-Bundestagsfraktion. Sie sind der Braunschweiger Wissenschaft in vielfältiger Weise verbunden, liebe Frau Reimann.

Als Körperschaft des öffentlichen Rechts sind wir eine Institution des Landes Niedersachsen, das im Niedersächsischen Landtag seine Repräsentation findet. So freue ich mich, Herrn **Klaus-Peter Bachmann** als Vizepräsidenten des Landtages unter uns begrüßen zu dürfen. Der Haushalt des Landes liefert die verlässliche finanzielle Basis für unsere Arbeit, wofür ich Ihnen, lieber Herr Vizepräsident, ebenso wie Herrn Landtagsabgeordneten **Dr. Christos Pantazis** stellvertretend herzlich danken möchte.

Für die Akademie der Wissenschaften zu Göttingen darf ich Herrn Kollegen **Prof. Lehfeldt** als Vertreter des Präsidenten herzlich begrüßen. Die Akademie der Wissenschaften in Heidelberg wird durch ihren Altpräsidenten Kollegen **Prof. Dr. Freiherr zu Putlitz** vertreten. Herrn Kollegen **Prof. Dr. Dr. h. c. mult. Bulirsch** begrüße ich ebenso als Vertreter des Präsidenten der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Herr Kollege **Prof. Dr. Glaßmeier** vertritt den Präsidenten unserer Nationalen Akademie Leopoldina.

Die Präsidenten der anderen Unionsakademien lassen grüßen und wünschen einen guten Verlauf unserer Jahresversammlung. Unglücklicherweise treffen sie sich heute zu einer gemeinsamen Sitzung und sind daher verhindert. Ebenso wünscht uns **Prof. Manger**, der Präsident der Akademie der gemeinnützigen Wissenschaften zu Erfurt, eine würdige und erfolgreiche Sitzung. Ich danke den befreundeten Akademien für diese Zeichen ihrer Verbundenheit.

Für die Gäste aus Universitäten begrüße ich stellvertretend Herrn **Prof. Dr. Thomas Hanschke**, den Präsidenten der Technischen Universität Clausthal. Ebenso gilt mein herzliches Willkommen Herrn **Prof. Dr.-Ing. Ulrich Reimers**, dem Vizepräsidenten unserer TU Braunschweig, und Herrn Kollegen **Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Dr.-Ing. E. h. Peter Wriggers**, Vizepräsident der Leibniz Universität Hannover.

Die wissenschaftlichen Institutionen im Raum Braunschweig sind in der **ForschungsRegion** Braunschweig gut vernetzt. Ich begrüße hier die Kolleginnen und Kollegen Herrn **Prof. Dr. Joachim Block**, Vorsitzender der ForschungsRegion Braunschweig und Leiter des Standortes Braunschweig des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt, Herrn **Prof. Dr. Ulrich Joger**, Direktor des Naturhistorischen Museums Braunschweig, des ältesten Naturhistorischen Museums auf dem Kontinent und zweitältesten der Welt, Frau **Dr. Heike Pöppelmann**, Direktorin des Braunschweigischen Landesmuseums. Herrn Pfarrer **Dieter Rammler**, Direktor der Abt-Jerusalem-Akademie, mit der wir durch gemeinsame Vortragsveranstaltungen und die Verleihung des Abt Jerusalem Preises eng verbunden sind, heiße ich herzlich willkommen.

Was wäre Wissenschaft ohne Förderung? An dieser Stelle will ich Herrn **Dr. Gert Hoffmann**, den Präsidenten der Stiftung Braunschweiger Kulturbesitz (SBK) begrüßen. Herr Dr. Hoffmann war langjähriger Oberbürgermeister in Braunschweig. Seien Sie herzlich willkommen!

Ebenso begrüße ich unsere Gäste, die aus den Bereichen der Wirtschaft, der Parteien und der Verwaltung zu uns gekommen sind. Hier möchte ich Herrn **Wunderling-Weilbier**, den Landesbeauftragten für die regionale Landesentwicklung Braunschweig begrüßen. Und sehr herzlich heiße ich abschließend alle Mitglieder der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft und ihre Begleitungen sowie die Witwen unserer verstorbenen Mitglieder willkommen, denn es ist Ihre und unsere feierliche Jahresversammlung, die wir nun eröffnen.

Genauso möchte ich Herrn **Volker Link** herzlich begrüßen, der unser Programm musikalisch mit Beethoven und Chopin umrahmt.

Ich darf nun Sie, Herr **Oberbürgermeister**, um Ihr Grußwort bitten.

**Grußwort des Oberbürgermeister der Stadt Braunschweig  
anlässlich der Jahresversammlung der Braunschweigischen  
Wissenschaftlichen Gesellschaft (BWG) mit Verleihung  
der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille am 29.04.2016 im  
Braunschweiger Altstadttrathaus\***

ULRICH MARKURTH

Sehr geehrter Herr Landtagsvizepräsident Bachmann,  
sehr geehrte Frau Bundestagsabgeordnete Dr. Reimann,  
sehr geehrter Herr Professor Brandes,  
sehr geehrter Herr Professor Rummel,  
sehr geehrter Herr Professor Müller,  
meine sehr geehrten Damen und Herren,

ich freue mich außerordentlich, Sie in der Dornse zu Ihrer feierlichen Jahresversammlung mit anschließender Verleihung der Gauß-Medaille begrüßen zu dürfen – seit langer Zeit ein fester Termin im Braunschweiger Wissenschaftsjahr.

Gestatten Sie mir eingangs einige Worte zur Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft, die sich seit ihrer Gründung kontinuierlich entwickelt hat und zu den wichtigsten Trägern des wissenschaftlichen und gesellschaftlichen Diskurses in unserer Stadt gehört. Zugleich ist sie eine von insgesamt nur zwölf wissenschaftlichen Akademien und vergleichbaren Institutionen, die es in Deutschland gibt. Der gute Ruf der BWG und die Anziehungskraft der Verleihung der Gauß-Medaille wird dadurch unterstrichen, dass Vertreter von vier Akademien aus diesem Anlass nach Braunschweig gekommen sind. Lassen Sie mich daher stellvertretend für zahlreiche hochkarätige Gäste sehr herzlich begrüßen:

- Herrn Prof. Bulirsch, als Vertreter der Bayerischen Akademie der Wissenschaften,
- Herrn Prof. Glaßmeier für die Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina zu Halle,
- Herrn Professor Freiherr zu Putlitz von der Heidelberger Akademie der Wissenschaften und

---

\* Es gilt das gesprochene Wort.

– von der benachbarten Akademie der Wissenschaften zu Göttingen, Herrn Professor Lehfeldt.

Ihre Anwesenheit, sehr geehrte Gäste, bestätigt die bundesweite Bedeutung der BWG und ist als Anerkennung ihrer jahrzehntelangen Arbeit und des vielseitigen Wirkens zu verstehen. Sehr zum Vorteil für Braunschweig: So lernen hochkarätige Multiplikatoren unsere Stadt kennen, die vor einigen Jahren nicht zuletzt mit dem Titel „Stadt der Wissenschaft“ auf sich aufmerksam gemacht hat.

Im Rahmen ihrer Jahrestagung verleiht die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft für hervorragende wissenschaftliche Leistungen die Carl Friedrich Gauß-Medaille. Die Bezeichnung erinnert an einen der berühmtesten Söhne unserer Stadt, dessen Name und Bekanntheitsgrad mit Braunschweig fast so eng verbunden ist wie der Heinrich des Löwen. Gauß gilt nicht nur bis heute als einer der größten Mathematiker überhaupt. In einem ganzen Bündel weiterer Wissenschaften hat Gauß Bahnbrechendes geleistet: in der Physik und Geophysik ebenso wie auf dem Gebiet der Geodäsie. Er war ordentlicher Professor für Astronomie und Direktor der Göttinger Sternwarte und stellte bedeutende Forschungen zum Erdmagnetismus an.

Von großem Glanz ist auch die Liste der Preisträger, die mit der Gauß-Medaille geehrt wurden, sowie deren wissenschaftliche Reputation. Verdeutlicht wird dies durch die Widmung auf der Rückseite der Medaille: „Den um die Wissenschaft am höchsten Verdienten“. Nur selten besteht jedoch bei der Preisvergabe zwischen der Disziplin des Geehrten und der des Namensgebers eine so starke Verbindung wie in diesem Jahr: Die Gaußmedaille 2016 erhält der Münchner Professor für „Astronomische und physikalische Geodäsie“, Dr. Reiner Rummel.

Herr Professor Rummel kann auf seinem Fachgebiet auf herausragende, international anerkannte wissenschaftliche Leistungen verweisen. Die Innovationskraft und Relevanz dieser Forschungen ist auf dem heutigen Kolloquium unter dem Titel „Vermessung der Erde vom Weltraum aus“ ja bereits diskutiert worden und wird sicher auch in der folgenden Laudatio von Herrn Professor Müller eine zentrale Rolle spielen. Eine Eigenschaft, für die Herr Professor Rummel besonders gelobt wird, ist die ausgeprägte Fähigkeit, die seinen Arbeiten zugrunde liegenden komplizierten Zusammenhänge in allgemeinverständlicher und anschaulicher Weise darzustellen. Insofern ist die Vorfreude auf seinen heutigen Festvortrag nicht nur bei mir, sondern – wie ich vermute – bei allen Gästen besonders groß.

Die BWG mit ihren gegenwärtig über 150 ordentlichen Mitgliedern hat schon früh erkannt, dass sich heutzutage keine Wissenschaft mehr isolieren darf. Aktuelle Forschungsrichtungen wie beispielsweise die Materialwissenschaften oder die Biotechnologie zeigen, dass die Grenzen zwischen unterschiedlichen Disziplinen zunehmend verschwinden. Vor allem in Zukunftstechnologien mit großem wirtschaftlichem Potenzial wie etwa der Mobilitätsforschung oder den Lebenswissenschaften wird längst interdisziplinär geforscht.



Daher war und ist es ein Hauptanliegen der BWG, den Austausch zwischen den Fächern zu fördern und zu intensivieren. Das unterstreicht auch der vor einigen Jahren von der BWG gemeinsam mit unserer Landeskirche und der hiesigen Technischen Universität ins Leben gerufene Abt-Jerusalem-Preis, der Beiträge zum Dialog zwischen den Geistes-, Natur- und Technikwissenschaften auszeichnet.

Seit langem setzt sich die BWG dafür ein, wissenschaftliche Erkenntnisse einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich zu machen und vor allem junge Menschen für das Thema Forschung zu begeistern. Sie tut dies mit großem Erfolg, in Partnerschaften mit der Technischen Universität, der Abt Jerusalem Akademie oder auch der Stadt Braunschweig. Die Themen, die dann behandelt werden, zeigen die große Bandbreite und die Bedeutung von Wissenschaft für unterschiedlichste Bereiche unserer Gesellschaft.

Im letzten Jahr gelang dies durch eine von der Öffentlichkeit sehr gut angenommene Vortragsreihe über den Konflikt im Nahen und Mittleren Osten mit dem Schwerpunkt Armenien, oder die mittlerweile etablierte Reihe der Akademie-Vorlesungen im Roten Saal zu „Faszination Feuer“. Die aktuelle Reihe zum „Harz als Natur- und Kulturräum“ erfreut sich ebenfalls großer Publikumsresonanz. Die gemeinsame Vortragsreihe mit TU und Abt Jerusalem Akademie legt in diesem Jahr ihren Schwerpunkt auf ein tagesaktuelles Thema, das uns als Stadt sehr beschäftigt, „Wie kann die Integration von Flüchtlingen gelingen?“

Sie sehen, meine sehr geehrten Damen und Herren, die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft ist nicht nur seit mehr als 70 Jahren unverzichtbarer Bestandteil der Wissenschaftslandschaft in unserer Stadt. Sie ist auch eine der tragenden Institutionen der ForschungsRegion Braunschweig, in der mehr als 25 wissenschaftliche Einrichtungen zusammengeschlossen sind.

Ein herausragendes Beispiel für die hier vorhandene Dynamik ist der Forschungsflughafen Braunschweig. Das Mobilitycluster um den Forschungsflughafen verzeichnet rasantes Wachstum und hat sich zu einem Hotspot der Forschung entwickelt. Darüber hinaus zeigen die neu entstehenden Zentren für Systembiologie und für Nanometrologie sowie das Zentrum für Pharmaverfahrenstechnik wie aktiv und facettenreich unsere Forschungsregion ist.

Der BWG gilt an dieser Stelle mein herzlicher Dank dafür, dass sie mit ihrer Arbeit dazu beiträgt, Kompetenzen zu bündeln und die Vernetzung zwischen den unterschiedlichen Disziplinen zu fördern.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

## **Bericht über die BWG**

DIETMAR BRANDES

Präsident der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

Hohe Festversammlung,  
meine sehr geehrten Damen und Herren!

Am Anfang des Berichts über das vergangene BWG-Jahr stehen Personalia. Hier ist es meine traurige Pflicht, zunächst der seit der letzten Jahresversammlung verstorbenen Mitglieder der BWG zu gedenken.

### **Verstorbene Mitglieder**

Am 19. Juni 2015 verstarb Hans-Otto Leilich, Dr.-Ing., Prof. em. für Datenverarbeitungsanlagen an der TU Braunschweig. Er war seit 1986 ordentliches Mitglied der Klasse für Ingenieurwissenschaften.

Am 23. Juni 2015 verstarb Eduard Lohse, Dr. theol., Honorarprofessor an der Universität Göttingen und Landesbischof i.R. der Evangelischen Landeskirche Hannover. Er war seit 1978 ordentliches Mitglied der Klasse für Geisteswissenschaften.

Am 6. September 2015 verstarb Dietrich Möller, Dr.-Ing., Prof. em. für Vermessungskunde an der TU Braunschweig. Herr Möller war seit 1981 ordentliches Mitglied der Klasse für Ingenieurwissenschaften.

Am 22. September 2015 verstarb Hanns-Joachim Weinert, Dr. phil., Dr. rer. nat. habil., Prof. für Mathematik an der TU Clausthal. Er war seit 1986 ordentliches Mitglied der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften.

Am 30. Oktober 2015 verstarb Manfred Mischke, Dr.-Ing., Prof. em. für Fahrzeugtechnik an der TU Braunschweig. Herr Mischke war seit 1974 ordentliches Mitglied der Klasse für Ingenieurwissenschaften.

Am 19. Februar 2016 verstarb Hermann Christian Kärner, Dr.-Ing., Dr. h. c., Prof. em. für Hochspannungstechnik an der TU Braunschweig. Er war seit 1995 korrespondierendes Mitglied der Klasse für Ingenieurwissenschaften.

Am 25. Februar 2016 verstarb Christoph Schwink, Dr. rer. nat., Prof. em. für Physik an der TU Braunschweig. Herr Schwink war seit 1983 ordentliches Mitglied der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften.

Wir sind den Verstorbenen für ihre Anregungen sowie für ihre Unterstützung der BWG dankbar und werden ihnen ein ehrendes Gedächtnis bewahren. Ich danke Ihnen, dass Sie sich von Ihren Plätzen erhoben haben.

### **Zuwahlen und personeller Stand**

Die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft ist eine Gelehrten-gesellschaft und regionale Akademie, die das Recht auf personelle Selbstergänzung besitzt. Die Zuwahl erfolgt ausschließlich nach wissenschaftlicher Leistung, ohne politische oder gesellschaftliche Vorgaben. Die Zuwahlen haben daher eine große Bedeutung für die BWG, geben sie uns doch die Möglichkeiten, sowohl Lücken im Fächerspektrum zu schließen als auch neue Forschungsfelder personell zu eröffnen.

In den Wahlsitzungen am 11. Dezember 2015 und am 8. April 2016 wurden als ordentliche Mitglieder hinzugewählt:

#### *In die Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften:*

Prof. em. Dr. phil. **Kurt Hahlweg**, Professor für Klinische Psychologie, Psychotherapie und Diagnostik an der TU Braunschweig, Inhaber einer Niedersachsenprofessur.

Prof. Dr. rer. nat. **Petra Mischnik**, Professorin für Lebensmittelchemie an der TU Braunschweig.

#### *In die Klasse für Ingenieurwissenschaften:*

Prof. Dr.-Ing. **Bernhard Friedrich**, geschäftsführender Leiter des Instituts für Verkehr und Stadtbauwesen der TU Braunschweig

Prof. Dr.-Ing. **Michael Kurrat**, geschäftsführender Leiter des Instituts für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen (elenia) der TU Braunschweig

Prof. Dr.-Ing. **Jörg Wallaschek**, geschäftsführender Leiter des Instituts für Dynamik und Schwingungen der Leibniz Universität Hannover

#### *In die Klasse für Geisteswissenschaften:*

Herr Prof. Dr.-Ing. **Alexander von Kienlin**, geschäftsführender Leiter des Instituts für Baugeschichte der TU Braunschweig

Zum korrespondierenden Mitglied der Klasse für Geisteswissenschaften wurde gewählt:

Prof. em. Dr.phil. Dr. h. c. **Johannes Fried**, emeritierter Professor für Mittelalterliche Geschichte der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main, Träger der Gaußmedaille 2015.

Somit gehören der BWG zum heutigen Tage 153 ordentliche Mitglieder (davon 89 unter 70 Jahren) an. Sie kommen mehrheitlich aus den drei benachbarten Universitäten Braunschweig, Hannover und Clausthal. Weitere Mitglieder kommen aus den Universitätsstandorten Göttingen, Hildesheim, Osnabrück, Hamburg und Magdeburg sowie von außeruniversitären Forschungsanstalten der Region. Zusammen mit den 64 korrespondierenden Mitgliedern aus Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Israel, Italien, Luxemburg, Österreich, Russland, Schweiz und USA bilden sie ein beachtliches wissenschaftliches Netzwerk.

Im Berichtsjahr gab es keine Veränderungen im Präsidium. Frau Professorin Dr. Christel Müller-Goymann wurde für eine weitere Amtsperiode von 2016–2018 als Vizepräsidentin wiedergewählt. Herr Prof. Dr. Otto Richter wurde zum Vorsitzenden der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften gewählt. Beiden Kollegen gelten meine herzlichen Glückwünsche.

Am 23. Oktober wurde Prof. Dr. Dr. h. c. Joachim Klein, Präsident der BWG von 2000 bis 2013, anlässlich seines 80. Geburtstages mit einer akademischen Feierstunde in Anwesenheit zahlreicher Akademie- und Universitätspräsidenten geehrt. Laudationes hielten Werner-Michael Kulicke (Univ. Hamburg) und Dieter Kind (BWG). Den Festvortrag hielt Angela D. Friederici (MPI für Kognitions- und Neurowissenschaften Leipzig).

### **Die Arbeit als Gelehrtengeellschaft: interne Veranstaltungen der BWG**

Die interne Arbeit der BWG spielt sich vor allem in ihren Plenar- und Klassensitzungen ab. Jeder einzelne Vortrag stellt einen interdisziplinären Brückenschlag dar, bei dem fächerübergreifend Fragen aufgeworfen und Methoden diskutiert werden. Im Berichtszeitraum wurden 13 Plenarvorträge und 8 Klassenvorträge gehalten; Themen und Kurzfassungen der Vorträge werden im jeweiligen Jahrbuch publiziert. Oft stellen sie einen Kristallisierungskeim dar, um den herum der Austausch und auch das Verständnis zwischen den Fachkulturen weiter wachsen können. Somit ist die BWG ein Ort der Begegnung und des Austausches über die Fächergrenzen hinweg. Außerhalb der ca. 15 Gelehrtengeellschaften in Deutschland gibt es nur sehr wenige Möglichkeiten zu einem so intensiven fächerübergreifenden Diskurs.

Die bereits bewährte Zusammenarbeit mit der Göttinger Akademie der Wissenschaften wurde mit einer gemeinsamen Plenarsitzung in Göttingen, einem gemeinsamen Vortragsprogramm am phaeno in Wolfsburg sowie mit der Göttinger Akademiewoche fortgesetzt bzw. ausgebaut.

### **Kolloquien und Preisverleihungen**

Am 8. Mai 2015 wurde aus Anlass der Verleihung der Gaußmedaille an Herrn Prof. Dr. phil. Dr. h. c. Johannes Fried das Carl Friedrich Gauß-Kolloquium 2015 zum Thema „Auswahl und Weitergabe von Information – Naturwissenschaft und Geisteswissenschaften im Dialog“ veranstaltet. Vortragende waren Steffen Patzold (Univ. Tübingen), Verena Keck (Univ. Frankfurt a. M.) und Martin Korte (TU Braunschweig). Die Vorträge sind im 2016 erschienenen Jahrbuch 2015 dokumentiert.

Anlässlich der 175. Wiederkehr des Gründungstages des Botanischen Gartens der Technischen Universität Braunschweig wurde am 9. Juli 2015 ein wissenschaftliches Kolloquium zur Bedeutung von „Biologischen Lebenssammlungen“ veranstaltet. Vorträge wurden von Jörg Overmann (Leibniz-Institut DSMZ Braunschweig), Andreas Graner (IPK Gatersleben), Henryk Flachowsky (JKI, Institut für Züchtungsforschung an Obst Dresden), Erika Maul (JKI, Institut für Rebenzüchtung Geilweilerhof), Stefan Schneckenburger (TU Darmstadt), Gunter Karste (Nationalparkverwaltung Harz, Wernigerode) und Dietmar Brandes (TU Braunschweig, MBWG) gehalten. Die Tagung ist ebenfalls in unserem 2016 erschienenen Jahrbuch 2015 dokumentiert.

2015 wurde zum dritten Mal der Abt Jerusalem Preis für herausragende wissenschaftliche Beiträge zum Dialog von Geistes-, Natur- und Technikwissenschaften gemeinsam von TU Braunschweig, BWG, Evangelischer Landeskirche Braunschweig und Stiftung Braunschweigischer Kulturbesitz verliehen. Preisträger 2015 war der Architekturtheoretiker Prof. Dr. Gerd de Bruyn (Univ. Stuttgart). Die Laudatio hielt Alexander von Kienlin (TU Braunschweig, MBWG).

Als Mitveranstalterin war die BWG schließlich wieder an der Verleihung des „Braunschweiger Bürgerpreises für herausragende studentische Leistungen“ am 6. Dezember 2015 beteiligt.

Am 16. und 17. Februar 2016 hat die BWG ein wissenschaftliches Kolloquium zum Thema „Archäologische Beiträge zur Erforschung der Geschichte des Braunschweiger Landes“ in Kooperation mit dem Niedersächsischen Landesamt für Denkmalpflege, dem Braunschweigischen Landesmuseum und dem Stadtarchiv Braunschweig durchgeführt. Diese Veranstaltung zum Gedenken unseres Mitgliedes Hartmut Rötting, von dem wesentliche Impulse für eine interdisziplinäre Stadtökologie ausgingen, zeigte interessante neue Forschungsergebnisse.

se auf. Vorträge hielten Cord Meckseper (Univ. Hannover/BWG), Heiko Steuer (Univ. Freiburg), Wolf-Dieter Steinmetz (Braunschweigisches Landesmuseum), Michael Geschwinde (Nds. Landesamt f. Denkmalpflege), Karsten Kablitz (Braunschweig), Dirk Rieger (Hansestadt Lübeck), Christine Kellner-Depner (Salzgitter), Heike Pöppelmann (Braunschweigisches Landesmuseum), Michael Schormann (Hannover), Wolfgang Meibeyer (TU Braunschweig). Es ist beabsichtigt, die Tagungsergebnisse 2017 als Band der „Forschungen und Berichte“ des Braunschweigischen Landesmuseums zu publizieren.

Das Gauß-Kolloquium 2016 hatte das Thema „Vermessung der Erde vom Welt- raum aus“ und wurde am 29.4.2016 zu Ehren von Prof. Dr. –Ing. Dr. h. c. mult. Reiner Rummel (TU München) veranstaltet. Vorträge hielten Nicolaas Sneeuw (Univ. Stuttgart), Markus Rothacher (ETH Zürich), Jürgen Müller (Leibniz Uni- versität Hannover, MBWG). Zum Abschluss des Kolloquiums hielt der Träger der Gauß-Medaille eine kurze Ansprache. Die Veranstaltung wird im Jahrbuch 2016 dokumentiert.

## **Öffentliche Vorträge**

Eine der wesentlichen Aufgaben der BWG ist die Vermittlung von Wissenschaft in die Öffentlichkeit (Open Science), sowohl von Aussagen über den gesicherten Kenntnisstand als auch die Diskussion offener bzw. noch ungelöster Fragen. Hier sind die Akademievorlesungen im Roten Saal des Braunschweiger Schlosses in Kooperation mit dem Kulturinstitut der Stadt Braunschweig, gemeinsame Veranstaltungen mit der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen sowie die Kooperation mit der Abt-Jerusalem-Akademie zu nennen. Im Berichtszeit- raum haben wir die Vortragsreihe 2015 der Akademievorlesungen zum „Phäno- men Feuer“ mit 3 Vorträgen abgeschlossen. 2016 lautet das Rahmenthema „Der Harz als Natur- und Kulturraum“, bislang wurden 3 Vorträge gehalten. Im Rah- men der Reihe „Der Konflikt im Nahen und Mittleren Osten“ haben wir zum Themenschwerpunkt Armenien gemeinsam mit der Abt-Jerusalem-Akademie eine Folge von 4 Vorträgen veranstaltet. Gemeinsam mit der TU Braunschweig (Klinische Psychologie) und der Abt-Jerusalem-Akademie haben wir eine Ver- anstaltungsreihe mit dem Thema „Wie kann die Integration von Flüchtlingen gelingen?“ begonnen. Von den 8 vorgesehenen Vorträgen wurden im Berichts- raum 2 gehalten.

Gemeinsam mit der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen haben wir erst- mals die Göttinger Akademiewoche 2015 zum Thema „Die Stadt als Lebens- raum der Zukunft“ veranstaltet. Die Vorträge wurden paritätisch von Mitgliedern der AdW und der BWG gehalten. Bereits zum 10. Mal haben die beiden Gelehr- tengesellschaften Niedersachsens eine gemeinsame Vortragsreihe zu den großen Ausstellungen des phaeno in Göttingen konzipiert und durchgeführt. Das Rah-

menthema 2015/16 war „Mechanik“. Themen und Referenten der öffentlichen Vorträge werden ebenfalls im Jahrbuch 2016 dokumentiert.

### **Dank und Überleitung**

Meine sehr verehrten Damen und Herren, die umfangreichen Aktivitäten der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft, über die ich Ihnen hier berichten durfte, waren nur möglich als gemeinsame Leistung einer aktiven Gelehrten-gesellschaft. Ich bin sehr dankbar über die große Bereitschaft unserer Mitglieder, hochrangige und inspirierende Vorträge trotz zahlreicher anderer Verpflichtungen zu halten. Ebenso danke ich den Vizepräsidenten und den Klassenvorsitzenden für die gute und reibungslose Zusammenarbeit. Ein besonderer Dank gilt wieder unserer Geschäftsstelle mit Frau Petersen und Frau Mumcu, ohne deren kompetente und verantwortungsvolle Mitarbeit die BWG in der Form, wie wir sie kennen und schätzen, nicht denkbar wäre.

Nach diesem Rechenschaftsbericht kommen wir nun zum Höhepunkt und wissenschaftlichen Kern unserer Festversammlung und ich bitte nun Herrn Prof. Dr.-Ing. Müller um die Laudatio auf Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Reiner Rummel.

## **Laudatio zur Verleihung der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft an Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Reiner Rummel**

PROF. DR.-ING. HABIL. JÜRGEN MÜLLER

Institut für Erdmessung, Leibniz Universität Hannover  
Schneiderberg 50, D-30167 Hannover, E-Mail: mueller@ife.uni-hannover.de

Prof. Reiner Rummel erhält die Gauß-Medaille 2016 in Würdigung seiner herausragenden wissenschaftlichen Leistungen auf dem Gebiet der Satellitengravimetrie sowie seines vorbildlichen Engagements zur Nutzung geodätischer Methoden in den Erdwissenschaften.

Ich will Ihnen – als einer seiner Schüler – anhand von einigen Beispielen einen Eindruck von seinem Wirkungsspektrum vermitteln und werde auch den einen oder anderen Bezug zu Gauß herstellen.

Reiner Rummel ist nicht nur Wissenschaftler par excellence, sondern er ist auch als Hochschullehrer und als Mensch ein Vorbild für den (geodätischen) Nachwuchs. Reiner Rummel gehört zu denjenigen hochkarätigen Persönlichkeiten, die die Geodäsie in den letzten Jahrzehnten entscheidend vorangebracht und sie an exponierter Stelle im Konzert der Geowissenschaften verortet haben. Die Satellitenmission GOCE hat er maßgeblich vorangetrieben, genauso wie das Globale Geodätische Beobachtungssystem GGOS, was wesentlich zum Verständnis für das dynamische System Erde beigetragen hat. Er vermag es, hochkomplexe Sachverhalte, in Wort und Schrift, in einer plastischen Bildsprache zu vermitteln.

Bevor wir in ‚medias res‘ gehen, zunächst einige Worte zu seinem Werdegang: Nach Kindheit und Schulzeit in Landshut/Bayern hat Reiner Rummel 1966 das Vermessungswesen als Spielwiese und Herausforderung entdeckt. Das Studium schloss er 1970 an der Technischen Hochschule München ab – genauso wie seine Jungesellenzeit.

Nach dem Studium des Vermessungswesens in München ging Reiner Rummel zur Promotion nach Darmstadt zu Prof. Groten. (Thema der Dissertation war “Zur Behandlung von Zufallsfunktionen und –folgen in der physikalischen Geodäsie”) Abschluss als Dr.-Ing. 1974. Es folgte ein Forschungsaufenthalt an der damals weltweit renommiertesten Geodätischen Universität, der Ohio State University in Columbus. 1976 kehrte er nach München an das Deutsche Geodätische For-



schungsinstitut (DGFI) zurück und wechselte nach 2 Jahren an die Bayerische Kommission für die Internationale Erdmessung (BEK), angesiedelt bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften.

1980 – im Alter von 35 Jahren – erhielt er den Ruf auf die Professur für „Physikalische Geodäsie“ an der Technischen Universität Delft, in den Niederlanden. 1993 zog es ihn wieder nach Deutschland zurück, auf die Professur für „Astronomische und Physikalische Geodäsie“ an der TU München (Nachfolge von Prof. Sigl), wo sich unsere Wege kreuzten. Dort wirkte er bis 2010 und ist nun Carl von Linde Senior Fellow am Institute of Advanced Study der TU München.

Soweit die nackten Fakten. Wie facettenreich und vorausschauend – heute würde man sagen proaktiv – sein Wirken als Wissenschaftler und Hochschullehrer war, möchte ich nun etwas im Detail skizzieren.

Seine wissenschaftlichen Arbeiten waren stets gekennzeichnet durch eine tiefe Durchdringung der zugrunde liegenden Theorie, bevor es zur Umsetzung und Anwendung ging. So hat er schon sehr früh grundlegende theoretische Arbeiten zur Bestimmung des Gravitationsfeldes der Erde mit modernen Satellitenverfahren und zur spektralen Analyse der Beobachtungen angefertigt.

Kurzer Einschub: Übrigens das Gravitationsfeld wird heute standardmäßig als Reihe von Kugelfunktionen dargestellt – bei der Satellitenmission GOCE mit 50.000 Reihen-Termen. Gauß hat diese Methode erstmalig für das Magnetfeld (damals mit ganz wenigen Summengliedern) eingesetzt. Einschub Ende.

Reiner Rummel hat sich der Lösung des Geodätischen Randwertproblems gewidmet; dort werden Beobachtungen auf der Erdoberfläche oder in Satellitenbahnen zur Schwerefeldbestimmung genutzt. Er hat hierfür unter anderem stochastische Methoden der Datenanalyse entwickelt.

Mit seinen methodischen Arbeiten hat er so essentielle Beiträge geliefert: zum Verständnis der Satellitengradiometrie – hier werden differentielle Schwerebeschleunigungen im Satelliten beobachtet – und des Satellite-to-Satellite-Trackings, wobei Abstände zwischen den Satelliten gemessen werden. Fast zwangsläufig wurden zugehörige Satelliten-Missionen, wie GOCE (2009–2013) und GRACE (seit 2002 im Orbit), realisiert, die das Schwerefeld der Erde mit ungeahnter Präzision erfass(t)en. Reiner Rummel war der maßgebliche Vordenker und die treibende Kraft zur Konzeption und Realisierung der Satellitengradiometrie-Mission GOCE. GOCE wurde als erste „Core“-Mission der ESA 2009 gestartet. Er war dann auch verantwortlich für die Prozessierung der Messdaten.

Hier erlaube ich mir einen weiteren Hinweis auf Gauß, der ja die Bahnbestimmung des Asteroiden Ceres aus wenigen optischen Beobachtungen und die Bahnverbesserung unter Zuhilfenahme der Methode der kleinsten Quadrate erfolgreich etabliert hat. Beide Methoden sind heute Standard in der Satellitengeodäsie.

Beobachtet wird heutzutage natürlich etwa mit GPS und man gleicht Millionen von Beobachtungen aus, um Zigtausende von Unbekannten zu bestimmen.

Wieder zu Reiner Rummel: Er war in den vergangenen Jahrzehnten weiterhin zentral beteiligt, im Rahmen der Internationalen Assoziation für Geodäsie (IAG) ein neues Flaggschiff, einen neuen wissenschaftlichen Brennpunkt zu etablieren, nämlich das so genannte Globale Geodätische Beobachtungssystem (GGOS). Ziel von GGOS ist es, das Verständnis für das dynamische System Erde mit Hilfe von geodätischen Methoden zu erweitern, indem es räumliche und zeitliche Veränderungen konsistent erfasst. GGOS dient heute als Kristallisationsprojekt der internationalen Geodäsie, auf das weltweit Forschungsinitiativen und neue geodätische Infrastruktur, wie das deutsche Geodätische Observatorium in Wettzell im Bayerischen Wald, aufbauen.

Mit diesen und weiteren Aktivitäten hat Reiner Rummel entscheidend mitgewirkt, die Geodäsie für die geowissenschaftliche Erdbeobachtung entsprechend zu positionieren. Die Geodäsie, speziell die Gravimetrie wurden als wichtige Techniken erkannt, um klimarelevante Parameter im Erdsystem zu erfassen.

Und auch in diesem Bereich haben die Arbeiten von Gauß fundamentale Bedeutung. Seine berühmte Glockenkurve wird zwei-dimensional verwendet, um die Schwerefeldsignale in den Satellitendaten zu glätten, also hochfrequentes Rauschen zu eliminieren und damit die Zielgrößen zu extrahieren – heute Standard in diversen Variationen. Beispiele so erhaltener Resultate sind die Eismassenabnahme in den Polargebieten, Grundwasserverlust durch übermäßiges Bewässern etwa in Indien oder im Nahen Osten – wichtige Faktoren für den globalen Meeresspiegelanstieg.

Reiner Rummel hat seine Forschungsarbeiten nicht nur in rund 180 Publikationen veröffentlicht. Dass er seine Erkenntnisse und Fähigkeiten auch genutzt hat, um koordinierte Forschung zu organisieren, muss kaum extra erwähnt werden. Er war der Motor zur Realisierung und Koordinierung wichtiger nationaler und internationaler Forschungsprogramme, wie das Geotechnologien-Programm des BMBF oder Verbünde zur Nutzung der ESA-Mission GOCE.

Neben seinen wegweisenden Forschungsleistungen sei eine ihm selbst sehr wichtige Säule seines akademischen Wirkens erwähnt, die als Hochschullehrer. Reiner Rummel hat nicht nur das außerordentliche Potential, knifflige Forschungsfragen zu lösen; er hat auch die Gabe, sein Wissen weiter zu vermitteln. Und dies tut er exzellent und gerne. Er veranschaulicht komplexe Sachverhalte, indem er die wesentlichen Elemente herausarbeitet und in einer geeigneten Bildsprache präsentiert. Generationen von Studenten haben davon profitiert. Und wer je einen Vortrag von ihm gehört hat, kann dies unterstreichen. Es ist ein Vergnügen, seinen Ausführungen zu folgen – Reiner, wir freuen uns auf Deinen gleich folgenden Vortrag.

Diese außergewöhnlichen Leistungen sind natürlich nicht nur der BWG aufgefallen, sondern schon längst anderen Vereinigungen. Reiner Rummel erhielt eine Vielzahl von Ehrungen und Auszeichnungen. Die aus seiner niederländischen Zeit erspare ich mir. Erwähnen möchte ich aber, dass er seit 1989 Mitglied der Königlich-Niederländischen Akademie der Wissenschaften ist, seit 1997 Mitglied der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, seit 2004 auch Mitglied der Leopoldina sowie Ehrenmitglied der Ungarischen Akademie der Wissenschaften seit 2001. Und das sind noch nicht alle.

Reiner Rummel erhielt weiterhin die Ehrendoktorwürden der Universitäten Graz und Bonn, beide im Jahr 2005. Es folgten der Bayerische Verdienstorden 2008 und der Bayerische Maximiliansorden für Wissenschaft und Kunst 2010 sowie die Soldner-Medaille 2012 und der DVW-Preis 2013. Im Jahr 2013 wurde Reiner Rummel an dem Ort, an dem er seine internationale Karriere als Forscher begann, an der Ohio State University, die Ehrendoktorwürde der Universität verliehen – übrigens zeitgleich mit dem amerikanischen Präsidenten Barack Obama. Im Jahr 2014 folgte die Ehrendoktorwürde der Aristoteles Universität in Thessaloniki.

Ich möchte ausdrücklich erwähnen – da ich weiß, dass ihm die Lehre besonders wichtig war –, dass er auch zwei Mal die Auszeichnung ‚GeodätUM‘ seiner Alma Mater in München für seine besonderen Leistungen in der Lehre erhielt.

Die BWG möchte nun mit ihrem Preis nicht nur die einzigartigen Forschungsleistungen von Reiner Rummel würdigen, sondern auch sein Engagement für den Nachwuchs und sein immerwährendes Wirken, die geodätisch-wissenschaftlichen Themen einer größeren Öffentlichkeit geeignet nahe zu bringen.

Professor Rummel gehört zu den Persönlichkeiten, die die Geodäsie in den letzten Jahrzehnten wirklich voran gebracht haben. Er hat ihr einen zentralen Platz im Strauß der Erdwissenschaften verschafft. Er hat sie international positioniert und mit eigenen Ideen immerwährend inspiriert. Er ist zugleich Vordenker wie Nachdenker. Solche müsste es mehr geben. Er weiß immer, was er tut. Und er verfolgt seine Ziele konsequent und unermüdlich – ohne es an die große Glocke zu hängen.

Am besten hat er sich vielleicht selbst charakterisiert. Bei einem Interview durch GIM International Interviews (25.2.2013) wurde er gefragt:

“What has been your biggest contribution to the science of geodesy?”

Seine Antwort (von mir frei übersetzt): „Schwierig. Ich denke am meisten wird wohl die GOCE-Mission zählen. Ich war einer der Initiatoren und bin immer noch für die Datenauswertung verantwortlich. Die Mission ist ein riesiger Erfolg. Aber mein Herz würde sagen, mein größter Beitrag war, dass ich über die Jahre so viele junge Leute ausgebildet habe. Es bereitet mir große Freude zu sehen, wie sie erfolgreiche Beiträge zu unserem Forschungsgebiet leisten.“

Lieber Reiner (Rummel): Du bist ein Geodät, der die Ideen von Gauß und vieler weiterer Wissenschaftler in die heutige Zeit transportiert, mit eigenen grundlegenden Arbeiten angereichert und in neuen Anwendungen veredelt hat. Du hast Deine wissenschaftlichen Duftmarken nachhaltig gesetzt und viele Schüler inspiriert.

Wir sind uns – glaube ich – einig, dass man etwas tun muss, um die Schätze der Geodäsie zu heben. Aber es lohnt sich. Du hast gezeigt, wie es geht.

Wir sind stolz, Dich als Preisträger für die Gauß-Medaille 2016 gewonnen zu haben.

## Über die Anziehungskraft der Erde\*

REINER RUMMEL

Astronomische und Physikalische Geodäsie, Technische Universität München,  
Arcisstraße 21, D-80333 München, E-Mail: rummel@bv.tum.de

Sehr geehrter Herr Professor Brandes, sehr geehrter Herr Oberbürgermeister, werte Kollegen, sehr verehrte Damen und Herren,

Es freut mich außerordentlich, von Ihnen, von der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft mit der Gauß-Medaille ausgezeichnet zu werden. Gleichzeitig macht es mich natürlich auch verlegen, eine Medaille zu erhalten, die den Namen des großen Gauß trägt.

Gauß war ein genialer Denker, mit seinem Werk schuf er wesentliche Fundamente der modernen Mathematik, aber auch der Astronomie, Himmelsmechanik, Geodäsie und der Erforschung des Erdmagnetfelds (Klein, 2007; Mania, 2008). Seine Beschäftigung mit der Geodäsie war nur *eine* Episode seines Schaffens, dennoch vermochte Gauß der Geodäsie entscheidende Impulse zu geben. Eines der großen wissenschaftlichen Themen der damaligen Zeit war die Bestimmung der Erdfigur. Im Zusammenhang mit seinen geodätischen und astronomischen Messungen in den Jahren 1821–1824 an einer Dreieckskette, die die Sternwarten in Göttingen und Altona verband, gab Gauß als erster im deutschen Sprachraum eine klare Definition des Begriffs der geometrischen Figur der Erde. Im Jahr 1828 schreibt Gauß: „*Was wir im geometrischen Sinn Oberfläche der Erde nennen, ist nichts anderes als diejenige Fläche, welche überall die Richtung der Schwere senkrecht schneidet, und von der die Oberfläche des Weltmeeres einen Theil ausmacht.*“ Es geht also nicht um die physische Erdoberfläche, so wie wir sie sehen, sondern um die rein durch die Schwerkraft definierte Erdfigur, deren Oberfläche auf den Meeren mit einer ruhend gedachten Ozeanfläche zusammenfällt und die man sich unter den Kontinenten fortgesetzt denken sollte. Listing (1873) prägte für diese „geometrische Figur der Erde“ den Begriff Geoid. Das Geoid ist eine Äquipotential- oder Niveaulfläche des Schwerefelds, eine die ganze Erde umspannende Horizontalfläche. Die wissenschaftliche Frage der damaligen

---

\* Der Vortrag wurde am 29.04.2016 anlässlich der Verleihung der Gauß-Medaille durch die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft gehalten.

Zeit war dabei, ob – und wenn ja, in welchem Maße – das Geoid von einem mit der Erde rotierenden Ellipsoid in hydrostatischem Gleichgewicht abweicht. Ich werde darauf noch näher eingehen.

Der Titel meines Beitrags lautet „Über die Anziehungskraft der Erde“. Abbildung 1 zeigt ein weitgehend unbekanntes Gemälde von Salvador Dalí. Was stellt es dar? Man sieht einen Apfel, der Apfel gilt seit Newton als Symbol für Gravitation. Er wird durch geheimnisvolle Kräfte, die offenbar von den dargestellten vier den Apfel umringenden Marmorblöcken ausgehen in einem Schwebezustand gehalten.

Vielleicht inspiriert durch dieses Bild wurde in den sechziger Jahren ein neuartiger Typ Schweremesser entwickelt, der dieses Prinzip in die Realität umsetzt (Prothero & Goodkind, 1968). Es ist ein supraleitendes Gravimeter. Dabei wird eine supraleitende, sphärische Testmasse in einem Magnetfeld in einem perfekten schwebenden Ruhezustand gehalten, Abbildung 2. Die Schwerkraft selbst, aber auch jede Schwankung der Erdanziehung, durch zum Beispiel die Gezeitenwirkung von Sonne, Mond und Planeten wird auf weniger als ein Milliardstel der Erdanziehung kompensiert.

Mit diesem Ansatz lassen sich extrem kleine Veränderungen der Erdanziehung, z.B. durch herabfallenden Schnee oder als Folge von Schwankungen des Grundwasserspiegels bzw. der Bodenfeuchte erfassen. Es konnte auf der Messstation Wetzell im Bayerischen Wald gezeigt werden, dass mit diesem Instrument lokale Schwankungen der Erdanziehung weit genauer und repräsentativer erfasst werden können als mit einem Lysimeter, einer sehr aufwändigen Apparatur, die in der Hydrologie verwendet wird (Creutzfeldt u.a., 2008).

Man könnte Dalís Gemälde, Abbildung 1 jedoch auch anders interpretieren: die fünf dargestellten Massen, der Apfel und die vier Marmorblöcke, fallen allesamt; sie sind unmittelbar vor ihrem Aufprall auf der Erde dargestellt. Dies entspräche Einsteins berühmtem Gedankenexperiment eines fallenden Aufzugs, mit dem er die Äquivalenz von träger und schwerer Masse veranschaulicht hat. Der Schattenwurf des Gemäldes gestattet nicht zu entscheiden, welche der beiden Deutungen die zutreffende ist.

Auch zu dieser zweiten Deutung gibt es ein physikalisches Experiment. Im Jahr 1975 lancierte die französische Weltraumorganisation CNES einen Satelliten, in dessen Inneren eine kugelförmige Probemasse schwebend gehalten wurde, Abbildung 3. Ein Satellit, in seiner Umlaufbahn um die Erde, befindet sich im freien Fall (dies wurde schon von Newton gezeigt): der Satellit ist also in seiner Bahnbewegung ein im Gravitationsfeld frei um die Erde fallender Körper. Das gleiche gilt für die Probemasse in seinem Inneren. Doch während der freie Fall des Satelliten durch die Atmosphäre in seiner Bewegung gestört wird (auch in einer Satellitenhöhe von hier zwischen 300 km im Perigäum und 1290 km im Apogäum macht sich noch eine Restatmosphäre bemerkbar), bewegt sich die

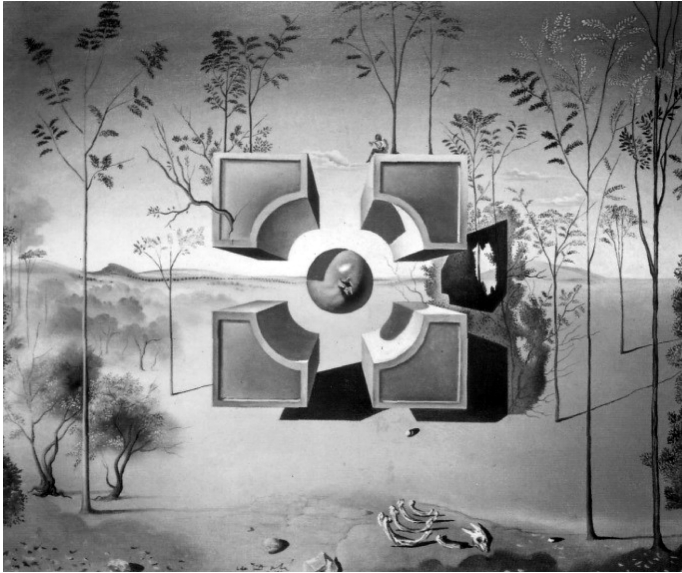


Abbildung 1: Gemälde von Salvador Dalí „Sans Titre“  
© Salvador Dalí, Fundació Gala-Salvador Dalí, Figueres, 2011



Abbildung 2: Supraleitendes Gravimeter der Firma GWR Instruments, Inc.



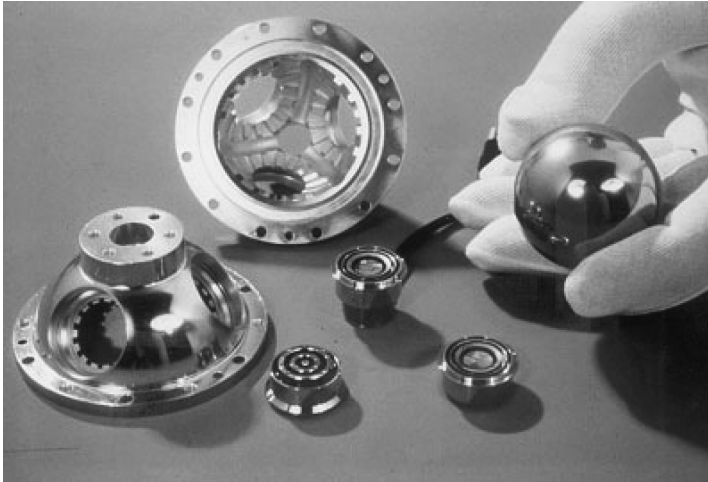


Abbildung 3: Mikroakzelerometer „Cactus“ mit sphärischer Testmasse; gebaut durch Onera/Paris für den Satelliten CNES CASTOR (D5B), 1975 (Bernard A., J.P. Canny, R. Juillerat, P. Touboul, *Acta Astronautica*, 1985).

Probemasse im Inneren ungestört. Aus diesem differentiellen Effekt konnte die Bremswirkung der Erdatmosphäre abgeleitet und in einem weiteren Schritt ein Modell der Atmosphärendichte erstellt werden.

Das Prinzip lässt sich auch umkehren: kennt man die Bremswirkung der Atmosphäre, so folgt hieraus die ungestörte Bahnbewegung des Satelliten und in einem weiteren Schritt das Gravitationsfeld der Erde. Die erfolgreiche Anwendung dieses Prinzips musste bis zum Jahr 2000 warten und wurde erstmals mit der deutschen Satellitenmission CHAMP erprobt (Reigber u.a., 2002). Denn erst zu dieser Zeit wurde es möglich, mit den Satelliten des Globalen Satellitennavigationssystems GPS die Bahn des erdnahen Satelliten CHAMP aus großer Höhe sehr genau, ununterbrochen und dreidimensional zu vermessen, Abbildung 4.

Da die Anziehungskraft der Erde jedoch mit zunehmender Höhe über der Erdoberfläche abnimmt, nach dem Newtonschen Gravitationsgesetz mit dem Quadrat des Abstands, erhält man aus den Satellitenbahnen nur ein sehr abgeschwächtes Abbild der Erdanziehung, Details sind nicht erkennbar. Dies ist das zentrale Dilemma jeder Bestimmung der Erdanziehung mit Satelliten und beschäftigt Geodäten und Physiker bereits seit den sechziger Jahren. Wie lässt sich diesem Dämpfungseffekt entgegenwirken?

Genau betrachtet müsste die zweite Interpretation des Gemäldes von Dalí noch verfeinert werden. Das Einstein'sche Äquivalenzprinzip – der vollkommen gleiche



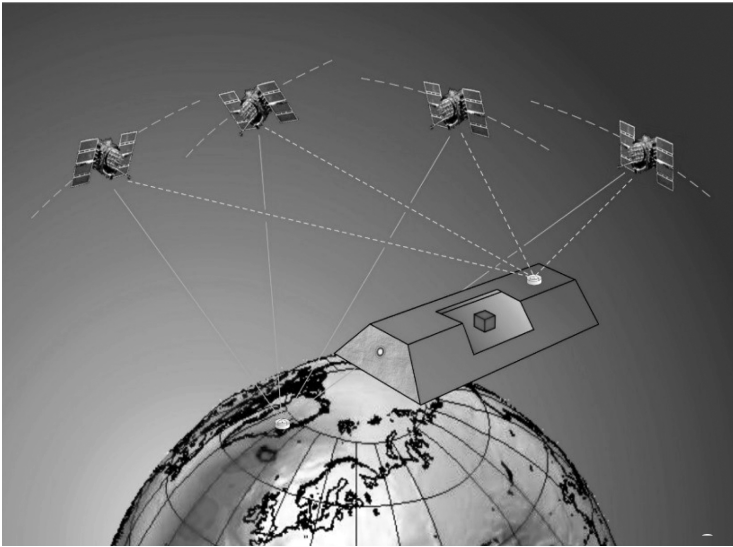


Abbildung 4: Prinzip der Beobachtung eines erdnahen Satelliten mit Hilfe der hoch fliegenden Satelliten des Globalen Positionierungssystems GPS; die rote Testmasse im Satelliten symbolisiert ein Mikroakzelerometer zur Erfassung der auf den Satelliten wirkenden nicht-gravitativen Kräfte.

Fall von Apfel und Marmorblöcken – gilt theoretisch nur in einem Punkt, d.h. der Apfel und die vier Marmorblöcke müssten zu einer Punktmass verschmelzen. In Wirklichkeit „fühlt“ jede der fünf fallenden Massen an ihrem Ort die Anziehung der umringenden Erdmassen ein klein wenig anders: die Unterschiede sind sehr, sehr klein, aber eben nicht vernachlässigbar klein. Die Situation ist vergleichbar mit der Aussage, die Wirkung des Gravitationsfelds der Erde auf die linke Hand sei ein klein wenig anders als die auf die rechte Hand. Die Aussage ist korrekt, die Differenz ist jedoch extrem klein, weniger als 1 Millionstel von „g“, aber sie lässt sich messen und ist der Schlüssel zu einer detaillierten Rekonstruktion der Erdanziehung vom Weltraum aus.

Mit der ESA Schwerefeldmission GOCE (2009–2013) wurde dieses Prinzip erstmals erprobt. Zentrales Messinstrument des Satelliten ist ein Gravitationsgradiometer, d.h. die simultane Messung der Erdanziehung an mehreren Stellen im Inneren eines Satelliten. Es lässt sich leicht nachvollziehen, dass die untere, d.h. die „erdnähere“ Probemasse die Anziehung eines Gebirgsblocks auf der Erde etwas stärker fühlt als die „erdfernere“, und die auf eine Probemasse im vorderen Bereich des Satelliten gerichtete Erdanziehung etwas anders wirkt als auf eine im hinteren Teil. Aus diesen kleinen Unterschieden wurde das Gravitationsfeld

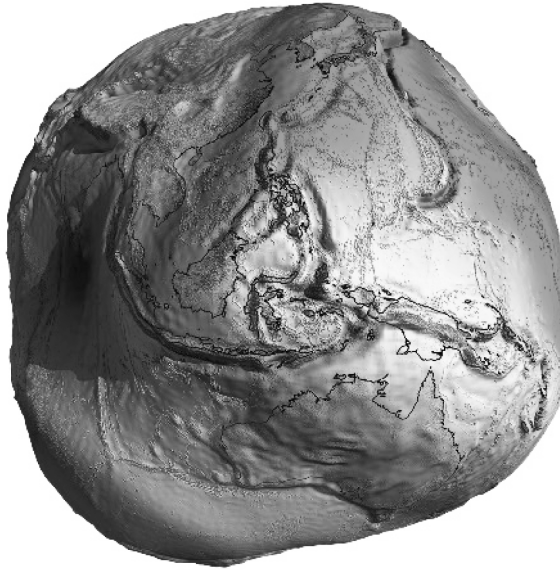


Abbildung 5: Erdfigur, abgeleitet aus den Messungen des Gravitationsgradiometers des ESA-Satelliten GOCE.

der Erde sehr erfolgreich global mit einer bis dahin noch nicht erreichten Genauigkeit abgeleitet. Das Prinzip ist in Abbildung 7 (oben) dargestellt, eine nähere Beschreibung wird in (Floberghagen u.a., 2011 und Rummel u.a., 2011) gegeben.

Mit GOCE konnte erstmals die geometrische Figur der Erde detailgenau vermessen werden, so wie es Gauß vielleicht schon im 19. Jahrhundert vorschwebte. GOCE konnte bestätigen, dass das Geoid einer ellipsoidischen Figur im hydrostatischen Gleichgewicht grundsätzlich sehr nahe kommt. Doch diese Erkenntnis ist heute weit weniger interessant als die vielen sichtbaren Unregelmäßigkeiten. Sie werden in der Geodäsie als Geoidundulationen oder –anomalien bezeichnet. Bereits Gauß (1828, S. 49) spekuliert hierüber, indem er obige Definition der Erdfigur folgendermaßen ergänzt: *„Die Richtung der Schwere an jedem Punkte wird aber durch die Gestalt des festen Theils der Erde und seine ungleiche Dichtigkeit bestimmt, und an der äusseren Rinde der Erde, von der allein wir etwas wissen, zeigt sich diese Gestalt und Dichtigkeit als höchst unregelmässig; die Unregelmässigkeit der Dichtigkeit mag sich leicht noch ziemlich tief unter die äussere Rinde erstrecken, und entzieht sich ganz unsern Berechnungen, zu welchen fast alle Daten fehlen. Die geometrische Oberfläche ist das Product der Gesamtwirkung dieser ungleich vertheilten Elemente, und anstatt vorkommende unzweideutige Beweise der Unregelmässigkeit befremdend zu finden, scheint es eher zu bewundern, dass*

*sie nicht noch grösser ist.*“ Gauß führte auf dem Brocken im Harz astronomische Messungen zur Bestimmung der Lotrichtung durch. Er verglich die astronomisch bestimmte Lotrichtung (= Vertikale) mit der aus der Triangulation abgeleiteten geodätischen Lotrichtung (der Normalrichtung auf der ellipsoidischen Rechenfläche) und konstatierte eine Differenz, man spricht von Lotabweichung, die *geringer* ausfällt als erwartet, geringer nämlich als die aus der sichtbaren Topographie mit Hilfe des Newtonschen Gravitationsgesetzes errechnete Lotabweichung. Übrigens ist dies eine Beobachtung, die auch seinen Zeitgenossen und Freund Alexander von Humboldt (1851, S. 640) beschäftigte. Von Humboldt analysierte die während der Gradmessung der Französischen Akademie der Wissenschaften in Peru von La Condamine durchgeführte und von Bouguer analysierte Bestimmung der Lotabweichung am Chimborazo und kommt zu einem ähnlichen Schluss wie Gauß, dass nämlich die tatsächliche Lotabweichung wesentlich kleiner ausfällt als die theoretisch aus den Gebirgsmassen errechnete. Als eine der Erklärungen wurden damals von einigen Wissenschaftlern „große Höhlungen des colossalen Trachytberges“ postuliert. Erst ein halbes Jahrhundert später entstanden Theorien zur Kompensation der topographischen Massen in Erdkruste und Erdmantel, zur sogenannten Isostasie, (Watts, 2001). Das Gewicht der Gebirgsmassen liegt nicht einfach auf der Erdkruste auf, seine Last wird in Kruste und Mantel kompensiert. Diese Kompensation erklärt, warum die tatsächlichen Geoidundulationen viel kleiner sind als die aus den topographischen Massen errechneten. Mit den Ergebnissen von GOCE steht nun ein großer Schatz von gleichmäßig genauen Geoid- und Schweredaten zur Verfügung, insbesondere auch für Gebiete, für die bisher nur sehr lückenhaftes und ungenaues Datenmaterial verfügbar war.

So entstand mit den Ergebnissen von GOCE erstmals eine zuverlässige Datengrundlage zur Erforschung der unter einem dicken Eispanzer verborgenen Geodynamik der Antarktis. Ferraccioli u.a. (2011) benutzten die Ergebnisse von GOCE, um die Gebirgsbildung um das Gamburtsevgebirge zu untersuchen. Über einen Vergleich von GOCE-Schweregradienten und Topographie konnten McKenzie u.a. (2015) zeigen, dass die Biegesteifigkeit der Lithosphäre unter der Westantarktis signifikant anders ist als die unter der Ostantarktis. Generell ist mit den Gravitationsgradienten aus GOCE ein wichtiges neues Werkzeug der geophysikalischen Modellierung entstanden (Bouman u.a., 2016).

Bei seiner Definition der Erdfigur sagt Gauß: *„Was wir im geometrischen Sinn Oberfläche der Erde nennen, ist nichts anderes als diejenige Fläche, welche überall die Richtung der Schwere senkrecht schneidet, und von der die Oberfläche des Weltmeeres einen Theil ausmacht.“* Diese Aussage war in Anbetracht der damaligen Genauigkeiten korrekt. Tatsächlich wissen wir heute, dass auch die von Wellen und Gezeiten befreite Ozeanoberfläche keine Äquipotentialfläche ist. Die Abweichungen vom Geoid sind klein, in den Zentren der Ozeanströmungssysteme maximal ein oder zwei Meter, jedoch signifikant. In Analogie mit der Topographie der Kontinente spricht man von einer Topographie der Ozeane.

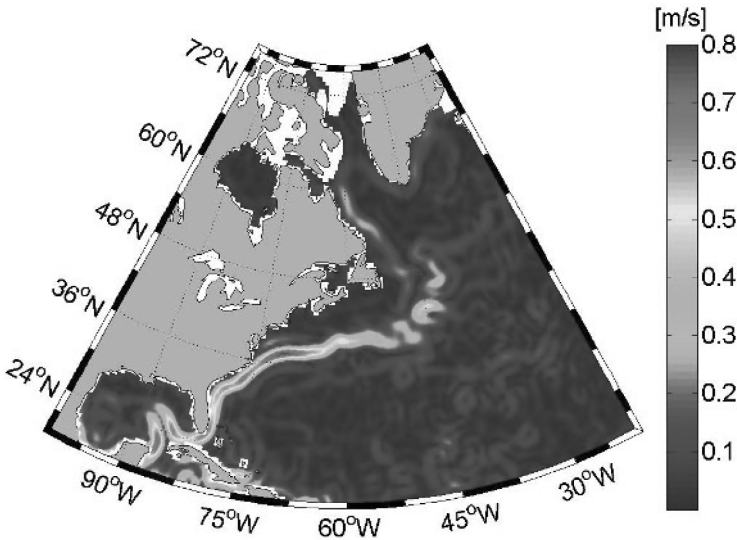


Abbildung 6: Geostrophische Geschwindigkeiten der Meeresströmungen im Nordatlantik, abgeleitet aus der altimetrischen Meeresoberfläche DTU2010 und einem Geoidmodell aus GOCE-Daten .

Ähnlich den Hoch- und Tiefdruckgebieten der Atmosphäre gibt es Höhen und Tiefen der Ozeane. Auf der nördlichen Hemisphäre bewegen sich die Ozeanmassen im Uhrzeigersinn entlang der Schichtlinien dieser Ozeanhöhen, im Gegenuhrzeigersinn auf der Südhalbkugel. Die Meerestopographie wird aufrechterhalten durch das Gleichgewicht des von ihr erzeugten Druckes und den Corioliskräften, man spricht von einem geostrophischen Gleichgewicht. Aus der Meerestopographie leiten sich die Geschwindigkeiten und Richtungen der Ozeanströmungen ab, (Rio u.a., 2014a und 2014b) und damit sehr wichtige Informationen über den Massen- und Wärmetransport in den Weltmeeren. In Abbildung 6 sind die geostrophischen Geschwindigkeiten im Nordatlantik dargestellt. Sie wurden aus einem Geoidmodell von GOCE und einem Meeresoberflächenmodell aus Satellitenaltimetrie gewonnen.

Über das Prinzip der Gradiometrie wurde es erstmals möglich, mit Satelliten ein sehr detailgenaues Abbild der Variationen der Erdanziehung zu schaffen. Die von Gauß definierte geometrische Figur der Erde wurde messbar. Gleichzeitig entstand der Wunsch noch einen Schritt weiterzugehen. Wäre es vor dem Hintergrund des Klimawandels machbar, zeitliche Veränderungen des Geoids zu detektieren; Veränderungen, wie sie zum Beispiel durch Verlagerungen von Eis- und Wassermassen im Erdsystem verursacht werden? Könnte man gar das Gewicht dieser

Massenverlagerungen feststellen? Während die räumlichen Geoidundulationen eine Größenordnung von ca. -100m und +80m haben, betragen die zeitlichen Veränderungen nur wenige Millimeter.

Im Gravitationsgradiometer werden Schweredifferenzen zwischen benachbarten Probemassen innerhalb eines Satelliten gemessen, Abbildung 7 (oben). Im Fall von GOCE sind deren Abstände nur ca. 50cm. Bei der 2002 gestarteten NASA-Mission GRACE, übrigens mit deutscher Beteiligung, betrachtet man die Schweredifferenz zwischen zwei sich folgenden Satelliten; der Abstand der beiden Satelliten ist dabei ca. 200 km, Abbildung 7 (unten). Ein Gradiometer mit einer Armlänge von 50 cm wird demnach ersetzt durch eines mit einer Armlänge von 200 km. Durch diesen Kunstgriff tauscht man die räumliche Detailgenauigkeit ein gegen die zeitliche (Tapley u.a., 2004). Mit diesem Ansatz wird seither das großräumige Muster einer großen Anzahl von Prozessen, die mit Massenverlagerungen im Erdsystem einhergehen, sichtbar und messbar gemacht: Trockenperioden, Überschwemmungen, starke Entnahme von Grundwasser in der Landwirtschaft Nordindiens oder Kaliforniens, das Abschmelzen von Gletschern und Eiskappen, der Anstieg des Meeresspiegels. Eine sehr lesenswerte Übersicht bieten Wouters u.a., (2014). Ein herausragendes Beispiel ist die Eismassenbilanz Grönlands und der Antarktis. In einem großangelegten Experiment konnten erstmals die Resultate der GRACE-Gravimetrie mit regionalen Klimamodellen und den Ergebnissen der Höhenmessung in Übereinstimmung gebracht werden (Shepherd u.a., 2012). Das Ergebnis zeigt einen großen und sich beschleunigenden Eismassenverlust Grönlands, er beträgt momentan jährlich 142 Gigatonnen (Gt), einen etwas geringeren in der Westantarktis und auf der antarktischen Halbinsel (zusammen 85 Gt/Jahr), dem nur ein geringfügiger Eismassenzuwachs in der Ostantarktis (14 Gt/Jahr) gegenübersteht.

Der Eismassenverlust in Grönland und der Antarktis muss sich widerspiegeln in einem entsprechenden Masseneintrag in die Ozeane und damit einem Anstieg des Meeresspiegels. Auch hier ist durch GRACE die Bilanzierung und Ursachenforschung enorm vorangekommen. Mit Radarhöhenmessung wird schon seit fast 30 Jahren der Anstieg des Meeresspiegels vom Weltraum aus gemessen. Ein großer Beitrag des Anstiegs kommt dabei vom Abschmelzen der Gletscher und der Eisschilde Grönlands und der Antarktis. Er führt zu regional sehr unterschiedlichen Veränderungen des Geoids und wird von GRACE erfasst. Ein zweiter, ebenfalls sehr wesentlicher Beitrag ist eine direkte Folge der globalen Erwärmung der Ozeane, nämlich deren Wärmeausdehnung. Aber dieser Anteil ist mit GRACE nicht messbar, denn dieser thermo-sterische Anteil verändert das Schwerfeld der Erde kaum. Die Erfassung dieser Komponente erfolgt über das rein ozeanographische ARGO-Messsystem. Es besteht aus mehreren Tausend global über die Weltmeere verteilte Messbojen, mit denen Druck, Salzgehalt und Temperatur bis in eine Tiefe von 2000 Metern gemessen werden. So konnte eine Bilanzierung durchgeführt werden: der momentane Gesamtanstieg des Meeresspiegels von

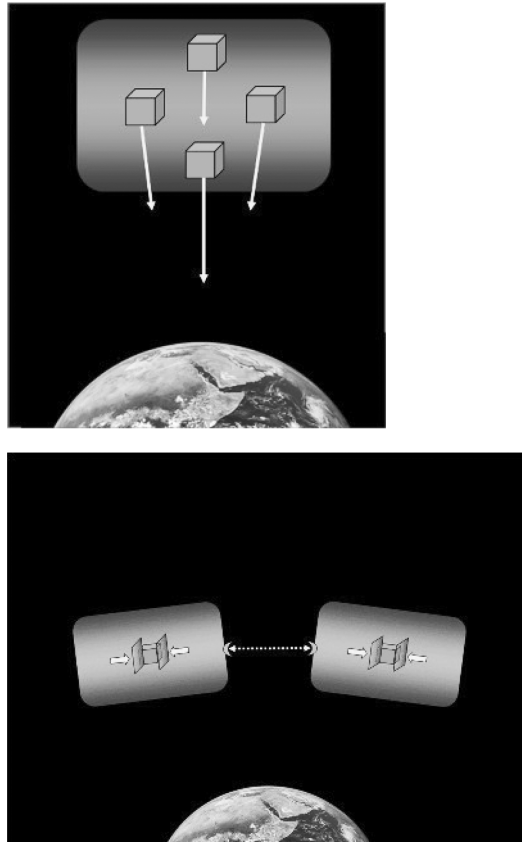


Abbildung 7: Schematische Darstellung des Prinzips der Satellitenmissionen GOCE (oben) und GRACE (unten) – Das GOCE-Gradiometer mit mehreren Testmassen (rot) im Inneren, die untere Testmasse wird von den Massen der Erde stärker angezogen als die obere; die Anziehung auf die linke Testmasse ist anders gerichtet als die auf die rechte, der Abstand der Testmassen beträgt nur 50cm – die GRACE-Mission besteht aus zwei im Abstand von 200 km die Erde umkreisende Satelliten, jeder der Satelliten enthält eine Testmasse, die Abstandsvariationen zwischen den beiden Satelliten werden mikrometergenau gemessen.

3.0 mm/J, immerhin 30 cm pro Jahrhundert, setzt sich zusammen aus 1.8 mm/J als Folge des Masseneintrags von Gletschern und Eisschilden in die Ozeane und 1.1 mm/J als Folge der thermischen Ausdehnung der Ozeane (Chambers u.a., 2006, siehe auch Church u.a., 2013 und Cazenave u.a., 2014). Es wird angenommen, dass die fehlenden 0.1 mm/J durch eine verstärkte kontinentale Wasserspeicherung zustande kommen.



GRACE misst die zeitlichen Veränderungen des Geoids und erschloss damit eine neue, sehr wertvolle Datenquelle für die Klimaforschung. Allerdings ist die Messanordnung mit den beiden sich folgenden Satelliten sehr unsymmetrisch: in Flugrichtung sehr genau, quer zur Flugrichtung mit relativ großen Messunsicherheiten. Die Folge ist eine ausgeprägte Streifenbildung in den Daten. Die besprochenen Ergebnisse sind nur nach einer ausgeklügelten Filterung erreichbar (z.B. Kusche, 2007), wobei das gebräuchlichste Filter den Namen von Gauß trägt: seine berühmte Glockenkurve hat für diese Anwendung besonders günstige mathematische Eigenschaften. Dennoch lässt sich ein Informationsverlust nicht vermeiden, der vor allem dazu führt, dass nur großräumige zeitliche Veränderungen reproduzierbar sind und sich in Küstennähe die Signale von Land- und Ozeanprozessen vermischen.

Die von GRACE erbrachten Resultate sind beeindruckend und für die Klimaforschung von enormen Wert. Die GRACE-Mission, ursprünglich für eine Laufzeit von fünf Jahren konzipiert (von 2002 bis 2007), befindet sich erst jetzt in ihrer Endphase. Für die Klimaforschung sind jedoch kontinuierliche Messreihen unabdingbar. Nur mit Serien, die sich über 30 Jahre und länger erstrecken, werden Klimasignale zweifelsfrei erkennbar. Es wird daher momentan intensiv über Konzepte zukünftiger Missionen nachgedacht (Panet u.a., 2013). Wünschenswert wäre eine noch genauere Bestimmung des Geoids bei einer gleichzeitigen Erhöhung der räumlichen und zeitlichen Auflösung.

Der wohl wichtigste „Denktank“ zur Entwicklung der technologischen und methodischen Voraussetzungen für eine zukünftige Mission ist mit dem Sonderforschungsbereich der Deutschen Forschungsgemeinschaft SFB 1128 Geo-Q in Hannover (Sprecher Professor Jakob Flury, 2012) und seinen Ablegern in Braunschweig und in Bremen geschaffen worden. Ein wichtiges Stichwort lautet dabei „Quantengravimetrie und Quantengradiometrie“, d.h. die Anwendung der in diesem Vortrag besprochenen Messprinzipien, nicht auf herkömmliche Probemassen sondern auf frei fallende Ansammlungen „kalter Atome“. Genutzt werden Quanteneffekte; die bisherigen Entwicklungen sind vielversprechend (Sorrentino u.a., 2011, Carraz u.a., 2014). Vor kurzem wurden in den USA von der amerikanischen Raumfahrtbehörde NASA innovative Missions- und Technologiekonzepte für Wissenschaftsmissionen der Zukunft ausgewählt. Von 11 ausgewählten Projekten beschäftigen sich zwei mit dem Thema Gravitation. Ein Vorschlag befasst sich mit der simultanen Messung des differentiellen freien Falls einer Ansammlung von frei fallenden Probemassen, in diesem Fall zur Bestimmung des Gravitationsfelds von Asteroiden, (Cosmic Concept: Visiting Asteroids with fleets of nanoprobes, <http://www.popularmechanics.com>). Auch ein derartiges Konzept wäre eventuell übertragbar auf die Erde, z.B. die interferometrische Vermessung der Bahnbewegung eines Schwarms von Mikrosatelliten von einem Referenzsatelliten aus.

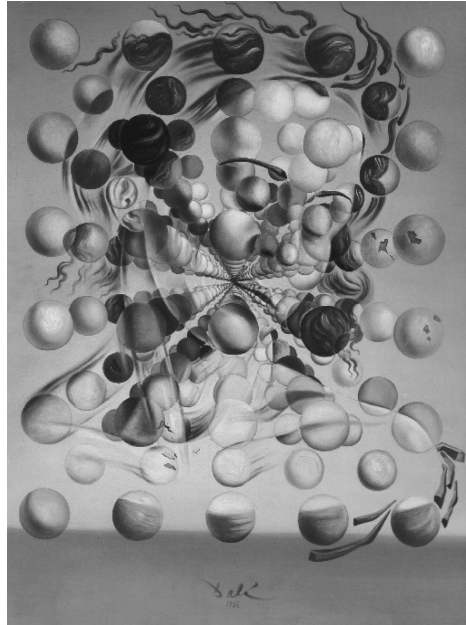


Abbildung 8: Gemälde „Galatea“ von Savador Dalí  
 © Salvador Dalí, Fundació Gala-Salvador Dalí, Figueres, 2014

Hier schließt sich irgendwie der Kreis. In Zukunft wird versucht werden, simultan den freien Fall einer größeren Ansammlung von Probekörpern zu erfassen, entweder „konventionell“ oder unter Nutzung von Quanteneffekten. Mit einem weiteren Gemälde, „Galatea“ hat Salvador Dalí gezeigt, wie sich aus der Betrachtung einer Vielzahl von sphärischen Einzelmassen ein Antlitz ergibt, das der schönen Galatea, der Tochter des Eurytios, Abbildung 8.

1977 wurde Helmut Moritz von der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft mit der Gauß-Medaille ausgezeichnet. Professor Moritz hat mit seinen bahnbrechenden Arbeiten ein modernes – gleichzeitig zeitloses – theoretisches Fundament der heutigen Geodäsie geschaffen. In seinem Buch „Geometry, Relativity and Geodesy“ (zusammen mit B Hoffmann-Wellenhof, 1993) spannt er den Bogen von der Gaußschen Geometrie krummliniger Koordinaten zur relativistischen Geometrie der Raumzeit. Man könnte dieses Buch als theoretisches Programm betrachten, auf dem sich nun von den Geodäten und Physikern des Sonderforschungsbereichs Geo-Q eine Geodäsie der nächsten Generation aufbauen lässt. Statt des berühmten Dreiecks Braunschweig – Göttingen – Hannover der Gaußschen Periode, wäre es dann das Dreieck Hannover, Braunschweig und Bremen.



Mein aufrichtiger Dank geht an meine Kollegen und Wegbegleiter, die Professoren Nico Sneeuw, Markus Rothacher und Jürgen Müller für ihre großartigen Beiträge zum Kolloquium. Ich bedanke mich auch bei allen ehemaligen Studierenden, Doktoranden und Mitarbeitern; der Gedankenaustausch mit ihnen war zweifellos die wertvollste Inspiration für meine eigenen Arbeiten.

## Literatur

BERNARD, A., J.P. CANNY, R. JUILLERAT & P. TOUBOUL (1985): Electrostatic suspension of samples in microgravity, *Acta Astronautica*.

BOUMAN, J., J. EBBING, M. FUCHS, J. SEBERA, V. LIEB, W. SZWILLUS, R. HAAGMANS & P. NOVAK (2016): Satellite gravity gradient grids for geophysics. – *Sci. Rep.* 6, 21050, doi:10.1038/srep21050.

CARRAZ, O., C. SIEMES, L. MASSOTTI, R. HAAGMANS & P. SILVESTRI (2014): A spaceborne gravity gradiometer concept based on cold atom interferometers for measuring Earth's gravity field. – *Microgravity Science and Technology*, 26(3), 139–145, DOI: 10.1007/s12217-014-9385-x.

CAZENAVE, A., H.-B. DIENG, B. MEYSSIGNAC, K. VON SCHUCKMANN, B. DECHARME & E. BERTHIER (2014): The rate of sea level rise. – *Nature Climate Change* 4: 358–361, 2014, DOI:10.1038/nclimate2159.

CHAMBERS, D.P. (2006): Observing seasonal steric sea level variations with GRACE and satellite altimetry. – *J. Geophys. Res. (Oceans)* 111 C3010.

CHURCH, J.A., P.U. CLARK, A. CAZENAVE, J.M. GREGORY, S. JEVREJEVA, A. LEVERMANN, M.A. MERRIFIELD, G.A. MILNE, R.S. NEREM, P.D. NUNN, A.J. PAYNE, W.T. PFEFFER, D. STAMMER, A.S. UNNIKRISHNAN (2013): Sea Level Change. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (STOCKER, T.F., D. QIN, G.-K. PLATTNER, M. TIGNOR, S.K. ALLEN, J. BOSCHUNG, A. NAUELS, Y. XIA, V. BEX & P.M. MIDGLEY (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

CREUTZFELDT, B., A. GÜNTNER, T. KLÜGEL & H. WZIONTEK (2008): Simulating the influence of water storage changes on the superconducting gravimeter of the Geodetic Observatory Wettzell. – *Germany, Geophysics*, 73(6). DOI: 10.1190/1.2992508.

FERRACCIOLI, F., C.A. FINN, T.A. JORDAN, R.E. BELL, L.M. ANDERSON & D. DAMASKE (2011): East Antarctic rifting triggers uplift of the Gamburtsev Mountains. – *Nature* 479: 388–392, DOI:10.1038/nature10566.

FLOBERGHAGEN, R., M. FEHRINGER, D. LAMARRE, D. MUZI, B. FROMMKNECHT, C. STEIGER, J. PIÑEIRO & A. DA COSTA (2011): Mission design, operation

and exploitation of the gravity field and steady-state ocean circulation explorer mission. – *J. Geod* **85**: 749–758, DOI: 10.1007/s00190-011-0498-3.

FLURY, J. (2012): Relativistic geodesy and gravimetry with quantum sensors – modeling, geo-metrology, and future technology, Leibniz Universität Hannover together with Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig and Zentrum für angewandte Raumfahrttechnologie und Mikrogravitation, Bremen, 147 Seiten, Hannover.

GAUSS, C.F. (1828): Bestimmung des Breitenunterschieds zwischen den Sternwarten von Göttingen und Altona durch Beobachtungen am Ramsdenschen Zenithsector, Carl Friedrich Gauß Werke, Band IX, S.49, Königl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Teubner.

HUMBOLDT, A. VON (1851): *Kosmos*, Band IV, 640–643.

KLEIN, J. (2007): Festvortrag, Carl Friedrich Gauß in der Walhalla, S. 13–23, Braunschweig.

KUSCHE, J. (2007): Approximate decorrelation and non-isotropic smoothing of time-variable GRACE-type gravity field models. – *J. Geod*, **81**(11), 733–749, DOI: 10.1007/s00190-007-0143-3

LISTING, J.B. (1873) : Ueber unsere jetzige Kenntniss der Gestalt und Grösse der Erde, Nachrichten von der Königl. Gesellschaft der Wissenschaften und der G. A. Universität zu Göttingen, 3, S. 33–98.

MANIA, H. (2008): Gauß: Eine Biographie, Rowohlt.

MCKENZIE, D., W. YI & R. RUMMEL (2015): Estimates of  $T_c$  from PreCambrian Shields using GOCE gravity. – *Earth and Planetary Science Letters* **428**: 97–107.

MORITZ, H. & B. HOFMANN-WELLENHOF (1993): *Geometry, Relativity, Geodesy*, Wichmann, Karlsruhe.

PANET, I., J. FLURY, R. BIANCALE, T. GRUBER, J. JOHANNESSEN, M.R. VAN DEN BROEKE, T. VAN DAM, P. GEGOUT, C.W. HUGHES, G. RAMILLIEN, I. SASGEN, L. SEOANE & M. THOMAS (2013): Earth System Mass Transport Mission (e.motion): A Concept for Future Earth Gravity Field Measurements from Space. – *Surv Geophys* **34**(2): 141–163, DOI 10.1007/s10712-012-9209-8.

PROTHERO, W.A. JR. & J.M. GOODKIND (1968): A superconducting gravimeter: Review of Scientific Instruments, **39**(9): 1257.

REIGBER C., H. LÜHR & P. SCHWINTZER (2002): CHAMP mission status. – *Adv. Space Res.* Vol. **30**(2): 129–134.

RIO, H.-M., A. PASCUAL, P.-M. POULAIN, M. MENNA, B. BARCELÓ & J. TINTORÉ (2014a): Computation of a new mean dynamic topography for the Mediterranean Sea from model outputs, altimeter measurements and oceanographic in situ data. – *Ocean Sci.*, **10**: 731–744, DOI:10.5194/os-10-731-2014.

RIO H.-M., S. MULET & N. PICOT (2014b): Beyond GOCE for the ocean circulation estimate: Synergetic use of altimetry, gravimetry and in-situ data provides new

insight into geostrophic and Ekman currents. – *Geophys. Res. Lett.*, **41**; 8918–8925, DOI :10.1002/2014GL061773.

RUMMEL, R., W. YI & C. STUMMER (2011): GOCE gravitational gradiometry. – *J. Geod* **85**:777–790, DOI 10.1007/s00190-011-0500-0.

SHEPHERD, A., E.R. IVINS, A. GERUO, V.R. BARLETTA, M.J. BENTLEY, S. BETTADPUR, K.H. BRIGGS, D.H. BROMWICH, R. FORSBERG, N. GALIN, M. HORWATH, S. JACOBS, I. JOUGHIN, M.A. KING, J.T.M. LENAERTS, J. LI, S.R.M. LIGTENBERG, A. LUCKMAN, S.B. LUTHCKE, M. MCMILLAN, R. MEISTER, G. MILNE, J. MOUGINOT, A. MUIR, J.P. NICOLAS, J. PADEN, A.J. PAYNE, H. PRITCHARD, E. RIGNOT, H. ROTT, L. SANDBERG SØRENSEN, T.A. SCAMBOS, B. SCHEUCHL, E.J.O. SCHRAMA, B. SMITH, A.V. SUNDAL, J.H. VAN ANGELEN, W.J. VAN DE BERG, M.R. VAN DEN BROEKE, D.G. VAUGHAN, I. VELICOGNA, J. WAHR, P.L. WHITEHOUSE, D.J. WINGHAM, D. YI, D. YOUNG & H.J. ZWALLY (2012): A Reconciled Estimate of Ice-Sheet Mass Balance. – *Science* **338**.

SORRENTINO, F., K. BONGS, P. BOUYER, L. CACCIAPUOTI, M. DE ANGELIS, H. DITTUS, W. ERTMER, J. HARTWIG, M. HAUTH, S. HERRMANN, K. HUANG, M. INGUSCIO, E. KAJARI, T. KÖNEMANN, C. LÄMMERZAHN, A. LANDRAGIN, G. MODUGNO, F. PEREIRA DOS SANTOS, A. PETERS, M. PREVEDELLI, E.M. RASEL, W.P. SCHLEICH, M. SCHMIDT, A. SENGER, K. SENGSTOCK, G. STERN, G.M. TINO, T. VALENZUELA, R. WALSER & P. WINDPASSINGER (2011): The Space Atom Interferometer project: status and prospects. – *Journal of Physics: Conference Series* **327**: 012050, DOI:10.1088/1742-6596/327/1/012050.

TAPLEY, B.D., S. BETTADPUR, J.C. RIES, P.F. THOMPSON & M.M. WATKINS (2004): GRACE Measurements of Mass Variability in the Earth System – *Science* **305**: 503, DOI: 10.1126/science.1099192.

WATTS, A.B. (2001): *Isostasy and flexure of the lithosphere*. – Cambridge University Press

WOUTERS, B., J.A. BONIN, D.P. CHAMBERS, R.E.M. RIVA, I. SASGEN & J. WAHR (2014): GRACE, time-varying gravity, Earth system dynamics and climate change – *Rep. Prog. Phys.* **77**: s116801 (41pp), DOI:10.1088/0034-4885/77/11/116801.

# DIE BRAUNSCHWEIGISCHE WISSENSCHAFTLICHE GESELLSCHAFT

VERLEIHT DIE

CARL FRIEDRICH GAUSS-MEDAILLE

HERRN

PROF. DR.-ING. DR. H.C. MULT.

REINER RUMMEL

MÜNCHEN

IN WÜRDIGUNG SEINER BESONDEREN VERDIENSTE IN DER SATELLITENGRAVIMETRIE UND  
SEINES VORBILDLICHEN ENGAGEMENTS ZUR NUTZUNG GEODÄTISCHER METHODEN  
IN DEN ERDWISSENSCHAFTEN

REINER RUMMEL HAT SICH INTERNATIONAL EINEN NAMEN GEMACHT DURCH SEINE  
HERAUSRAGENDEN WISSENSCHAFTLICHEN LEISTUNGEN AUF DEM GEBIET DER  
ERDSCHWEREFELDBESTIMMUNG MIT HILFE VON SATELLITEN-BEOBACHTUNGEN. SEINE  
WISSENSCHAFTLICHEN ARBEITEN SIND GEKENNZEICHNET DURCH EINE TIEFE  
DURCHDRINGUNG DER ZUGRUNDE LIEGENDEN THEORIE, BEVOR ES ZUR UMSETZUNG UND  
ANWENDUNG GEHT. REINER RUMMEL GEHÖRT ZU DENJENIGEN HOCHKARÄTIGEN  
PERSÖNLICHKEITEN, DIE DIE GEODÄSIE INTERNATIONAL POSITIONIERT UND MIT EIGENEN  
IDEEN IMMERWÄHREND INSPIRIERT HABEN. DIE ESA-SATELLITENMISSION GOCE HAT ER  
MASSGEBLICH BIS ZUR ERFOLGREICHEN REALISIERUNG VORANGETRIEBEN, GENAUSO  
WIE DAS GLOBALE GEODÄTISCHE BEOBACHTUNGSSYSTEM GGOS, DAS FÜR DAS  
VERSTÄNDNIS DES DYNAMISCHEN SYSTEMS ERDE ESSENTIELL IST. ER VERMAG  
HOCHKOMPLEXE SACHVERHALTE IN EINER PLASTISCHEN BILDSPRACHE ZU VERMITTELN.  
ER IST EIN GEODÄT, DER DIE IDEEN VON GAUSS IN EXZELLENTER WEISE IN DIE HEUTIGE  
ZEIT TRANSPORTIERT UND IN NEUEN ANWENDUNGEN VEREDELT HAT.

Braunschweig, den 29. April 2016



*Dietmar Brandes*

Prof. Dr. rer. nat. Dietmar Brandes  
Präsident  
der Braunschweigischen  
Wissenschaftlichen Gesellschaft

**Rummel, Reinhard**, Dr.-Ing., Dr. h.c. mult, em. Prof., Lehrstuhl für Astronomische und Physikalische Geodäsie, Technische Universität München, Arcisstr. 21, 80333 München

- 1945 in Landshut/Bayern am 3. Dezember 1945 geboren
- 1966 Abitur in Landshut
- 1966-70 Studium des Vermessungswesens an der TH München
- 1970 verheiratet mit Renate Rummel, zwei Kinder
- 1970-74 Wissenschaftlicher Mitarbeiter bei Prof. Groten an der TH Darmstadt
- 1974 Promotion zum Dr.-Ing. mit der Dissertation „Zur Behandlung von Zufallsfunktionen und –folgen in der physikalischen Geodäsie“ an der TH Darmstadt
- 1974-76 Forschungsaufenthalt an der Ohio State University, Columbus/Ohio, USA, bei Prof. Rapp
- 1977 Heiskanen Award der Ohio State University
- 1976-78 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Deutschen Geodätischen Forschungsinstitut (Abt. Theoretische Geodäsie) bei der Bayer. Akademie der Wissenschaften
- 1978-80 Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Bayerischen Kommission für die Internationale Erdmessung der Bayer. Akademie der Wissenschaften
- 1980-93 ordentlicher Professor für Physikalische Geodäsie an der TU Delft (Niederlande)
- 1982-93 Mitglied der Niederländischen Geodätischen Kommission
- Seit 1987 Mitglied der Wissenschaftlichen Gesellschaft Bataafsch Genootschap der Proefondervindelijke Wijsbegeerte
- 1987 Spourwerkprijs der Königlich-Niederländischen Ingenieursvereinigung
- 1987-93 Vorsitzender der Niederländischen Geodätischen Kommission
- 1987-95 Sekretär der Sektion 2 der International Association of Geodesy
- Seit 1989 Mitglied (seit 1993 korrespondierendes Mitglied) der Königlich-Niederländischen Akademie der Wissenschaften
- Seit 1993 Professur für Astronomische und Physikalische Geodäsie an der TU München und Direktor des gleichnamigen Instituts
- 1995-99 Vorsitzender der Sektion Space Geodesy der International Association of Geodesy
- 1996-2009 Mitglied der ESA Mission Advisory Group für GOCE
- 1996-2001 Mitglied des wissenschaftlichen Beirats des GFZ Potsdam
- 1996-2008 ständiger Sekretär der Deutschen Geodätischen Kommission
- Seit 1997 Mitglied der Bayerischen Akademie der Wissenschaften
- 1998-2010 Vorsitzender der Bayer. Kommission für die Intern. Erdmessung der Bayerischen Akademie der Wissenschaften

1998	Vening Meinesz Medal der European Geophysical Society
2001-10	korrespondierendes Mitglied der Österreichischen Geodätischen Kommission
Seit 2001	Ehrenmitglied der Ungarischen Akademie der Wissenschaften
Seit 2004	Mitglied der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina
2005	Ehrendoktorwürde der Technischen Universität Graz
2005	Ehrendoktorwürde der Technischen Universität Bonn
2006	Preis für gute Lehre an Bayerns Universitäten
2006-11	Mitglied der Earth Science Advisory Committee der ESA
Seit 2006	Mitglied im Kuratorium des Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum
2006-10	Mitglied des wissenschaftlichen Beirats des International Space Science Institute, Bern
Seit 2007	Mitglied der Leibniz-Sozietät der Wissenschaften in Berlin
2008	Bayerischer Verdienstorden
2010	Bayerischer Maximiliansorden für Wissenschaft und Kunst
2010	Ausscheiden aus dem aktiven Universitätsdienst
Seit 2010	Carl von Linde Senior Fellow, Institute for Advanced Study, Technische Universität München
2012	Soldnermedaille
2013	Ehrendoktorwürde der Ohio State University, USA
2013	Preis des Deutschen Vereins für Vermessungswesen
2014	Ehrendoktorwürde der Aristotle University of Thessaloniki
2015	Levallois-Medaille der Internationalen Assoziation für Geodäsie

### **Forschungsschwerpunkte**

Physikalische Geodäsie insbesondere die Bestimmung des Gravitationsfelds der Erde mit modernen Satellitenverfahren

Initiator (zusammen mit Dr. G. Balmino/CNES) der ersten Satellitenmission mit einem Gravitationsgradiometer (die ESA-Mission GOCE, 2009 - 2013)

Initiator des globalen Erdbeobachtungssystem GGOS (Global Geodetic Observing System)

Spektraltheorie zur Physikalischen Geodäsie

Einbettung der Gravitationsfeldbestimmung in die Erdwissenschaften

### **Aktuelle Forschungsgebiete**

Die globale Vereinheitlichung der Höhensysteme

Gravitationsfeldmodellierung aus topographischen Daten

Historische Betrachtung der Entwicklung der Satellitengeodäsie

## Schlusswort zur Feierlichen Jahresversammlung der BWG 2016

KLAUS GAHL

Vizepräsident der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

Werte Festgesellschaft, sehr verehrte Damen, sehr geehrte Herren,

zuerst ein herzlicher Dank an die Referenten und Organisatoren des Gauß-Kolloquiums heute Vormittag zur „Vermessung der Erde vom Weltraum aus“. Ein spannendes Kolloquium, auch für den fachfremden Zuhörer drei packende, staunenswerte Vorträge mit einer angemessenen Diskussion unter der Moderation von Frau Prof. Sester. Besten Dank! Dann auch an Herrn Volker Link, der mit Beethoven<sup>1</sup> und Chopin<sup>2</sup> der feierlichen Jahresversammlung und dem schönen Anlass der Verleihung der Carl Friedrich Gauß-Medaille einen festlichen Ton gegeben hat.

Schließlich gilt der besondere Dank Ihnen, sehr verehrter und mit der Gauß-Medaille geehrter Herr Prof. Rummel mit Ihrem faszinierenden Festvortrag „Über die Anziehungskraft der Erde“.

Lassen Sie mich Jean Paul zitieren: „Auf der Welt ist alles natürlich, ausgenommen die Welt selber.“

Ich möchte den Bogen vom Symposium zu Ihrem Vortrag, von der Fernsicht „vom Weltraum aus“ zur Naherfahrung der uns auf der Erde haltenden Anziehungskraft aufnehmen. Gibt er doch die Spannung aller menschlichen Erkenntnisbemühungen wieder: die Spannung zwischen der engagierten Nähe und der notwendigen Distanz zum Gegenstand des Erkennens. Was uns auf unserer Erde festhält, ist nicht nur die physikalische Gravitation, es ist vielmehr auch das, wofür wir uns einsetzen: sozial, politisch, kulturell, wissenschaftlich und mitmenschlich – der inneren Schwerkraft des existenziellen Engagements folgend. Und indem wir in der Außensicht die Erde vermessen, können wir auch der inneren Stellung des Menschen im Kosmos gewahr werden. Wird doch mit der naturwissenschaftlichen

---

<sup>1</sup> Ludwig van Beethoven (1770 – 1827): Sonate e-moll op.90: „Mit Lebhaftigkeit und durchaus mit Empfindung und Ausdruck“ und „Nicht zu geschwind und sehr singbar vorgetragen“.

<sup>2</sup> Frédéric Chopin (1810 – 1849)): Ballade Nr. 2 F-dur op. 38: Andantino – Presto con fuoco.

Methodik wohl der Wissensraum, aber nicht der Erlebensraum unserer Lebenswelt ausgemessen. Wo bleibt das viele Nicht-Messbare, nicht Erklärbare – Freude und Trauer, Sehnsucht und Leid?

Wir haben ein Verhältnis zu beiden Dimensionen: zum Messbaren und zum Nicht-Messbaren, dem Erklärbaren und dem Nicht-Erklärbaren – ein Verhältnis, das uns in einen dialektischen Abstand von uns selbst rückt – dialektisch, weil es gerade um das Eigentliche des Menschen geht und nicht um eine Distanzierung. Unser Weltverhältnis ist immer auch ein Selbstverhältnis.

Sehr geehrter Herr Rummel, wir haben Ihnen und den Vortragenden des Symposiums zu danken für solche Denkanstöße.

Noch einmal Jean Paul: „Auf der Welt ist alles natürlich – ausgenommen die Welt selber.“

Mit diesem Anstoß darf ich Ihnen, sehr verehrte Damen und Herren, einen frohen Abend wünschen.



# SYMPOSIEN UND KOLLOQUIEN

## Kolloquium zum Gedenken an Professor Hartmut Rötting

### Archäologische Beiträge zur Erforschung der Geschichte des Braunschweiger Landes

Veranstaltungstage: 16.02 und 17.02.2016

Veranstalter: Braunschweigische Wissenschaftlichen Gesellschaft  
in Kooperation mit dem Niedersächsischen Landes-  
amt für Denkmalpflege (Bezirksarchäologie Braun-  
schweig)

Veranstaltungsorte: Altgebäude TU Braunschweig, Pockelsstraße 4  
D-38100 Braunschweig, Hörsaal PK 4.7  
1. Obergeschoss  
  
Altgebäude der TU, Neuer Senatssaal  
1. Obergeschoss

#### **Programm:**

#### **16. Februar 2016 (öffentlicher Abendvortrag)**

18:00 Uhr Grußwort

Prof. Dr. Dietmar Brandes

Präsident der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

18:15 Uhr

Prof. Dr. Cord Meckseper

#### **In Erinnerung an Hartmut Rötting**

18:30 Uhr

Prof. Dr. Heiko Steuer

#### **Stadtarchäologie in Braunschweig. Eine kritische Bestandsaufnahme**

#### **17. Februar 2016 (Kolloquium)**

09:15 Uhr Begrüßung

Prof. Dr. Dietmar Brandes

Präsident der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

09:30 - 10:15 Uhr

Wolf-Dieter Steinmetz M.A.

**Das neolithische Gräberfeld von Wittmar**

10:15 - 11:00 Uhr

Dr. Michael Geschwinde

**Das neue Bild der Königspfalz Werla**

11:30 - 12:15 Uhr

Dr. Karsten Kablitz

**Die Befestigung im Norden der Braunschweig Altstadt im 12. und 13. Jahrhundert**

12:15 - 13:00 Uhr

Dr. Dirk Rieger

**Das „norddeutsche“ Doppelhaus - eine städtische Bauform des hohen Mittelalters**

14:15 - 15:00 Uhr

Christine Kellner-Depner M.A.

**Von der Ausgrabung in die Ausstellung: Der mittelalterliche Töpferofen von Salzgitter-Gebhardshagen**

15:15 - 16:00 Uhr

Dr. Heike Pöppelmann

**Hilfe gern in der Not – erwarte aber keinen Dank. Das Abtgrab Nr. 5 aus St. Aegidien, Braunschweig**

16:00 - 16:45 Uhr

Michael Schormann M.A.

**Die Adelsgrablege in Watzum**

16:45 - 17:30 Uhr

Prof. Dr. Wolfgang Meibeyer

**Urlandschaft und mittelalterliche Gewässer im engeren Stadtgebiet von Braunschweig**

17:30 Uhr Zusammenfassung und Ende der Tagung

Prof. Dr. Dietmar Brandes

## **12. Bioethik-Symposium Lebensmittelsicherheit**

Veranstaltungstag: 28. September 2016, 14:00 bis 18:00 Uhr,

Veranstalter: Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft

Veranstaltungsort: Haus der Wissenschaft, Pockelsstraße 11,  
D-38100 Braunschweig, 5. OG, Raum Veolia/Weitblick

Was ist unter Lebensmittelsicherheit zu verstehen? Auf welche möglichen Gefährdungen für den Verbraucher werden Lebensmittel geprüft: von den gewünschten Inhaltsstoffen über Zusatzstoffe (z. B. Konservierungsmittel oder Aromatisierungsstoffe), Rückstände aus der Produktion (z. B. Pflanzenschutzmittel) oder auf Stoffe, die bei der Verarbeitung, Zubereitung (z. B. Braten), Verpackung oder Lagerung entstehen, schließlich die Prüfung auf infektiöse Stoffe (z. B. Salmonellen) oder Antibiotika?

Wie gehen solche Prüfungen vor sich? Setzen sie bereits in der Produktion beim Hersteller (z. B. Hygienevorschriften) oder erst an der „Fertigware“ (z. B: Milch- und Käseprodukte, Getränke, Diäten) an? Wie werden Verdachtsfälle von Lebensmittelschäden aufgedeckt?

Welche Konsequenzen haben derartige Prüfungen?

Welche Instanzen regeln und kontrollieren die Einhaltung von Sicherheitsmaßnahmen? Werden Lebensmittelherstellung und -verbrauch nur auf Länder- oder auf nationaler Ebene oder europaweit geregelt? Was umfasst das deutsche Lebensmittelrecht?

Welche ethischen Probleme sind mit der Herstellung und dem Vertrieb von Lebensmitteln verbunden? Wie transparent ist z. B. die Verarbeitung von gentechnologischen Biostoffen? Wie vertretbar ist die Kochsalz-Jodierung oder die Getränkestabilisierung mit Zusatzstoffen?

Eine Fülle von Fragen aus der Sicht der Grundlagenforschung (Frau Prof. Dr. Mischnick), der Praxis der Lebensmittelprüfung (Dr. U. Nehring), der nationalen und internationalen Rechtsprechung (Frau U. Müller) und schließlich der Gentechnik (Prof. Dr. Hehl). Ihre Beachtung dient dem Verbraucherschutz, der allge-

meinen Gesundheit wie der individuellen Sicherheit beim Genuss des Reichtums, der unseren weltweit beeinflussten Lebensmittelmarkt prägt.

**Programm:**

14:00 Uhr Begrüßung

Prof. Dr. Dietmar Brandes

Präsident der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

14:15 Uhr

Prof. Dr. Christel Müller-Goymann

Geschäftsführende Leiterin des Instituts für Pharmazeutische Technologie der TU Braunschweig

Vizepräsidentin der BWG

**Einführung in die Thematik „Lebensmittelsicherheit“**

14:30 Uhr

Prof. Dr. Petra Mischnick

Institut für Lebensmittelchemie der TU Braunschweig, MBWG

**Lebensmittelsicherheit – Fragen an die Forschung**

15:15 Uhr

Dr. Ulrich Nehring

Institut Nehring GmbH, Braunschweig

**Lebensmittelsicherheit – die Praxis der Lebensmitteluntersuchung**

16:30 Uhr

Ursula Müller

Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Hannover

**Lebensmittelsicherheit – regulatorische Aspekte**

17:00 Uhr

Prof. Dr. Reinhard Hehl

Institut für Gentechnik, AG Pflanzengenetik, TU Braunschweig

**Gentechnik im Alltag**

17:45 Schlusswort

Prof. Dr. Klaus Gahl

Vizepräsident der BWG

## Lebensmittelsicherheit

### **Bericht über das 12. Bioethik-Symposium am Mittwoch, 28. September 2016**

KLAUS GAHL & CHRISTEL MÜLLER-GOYMANN

Vizepräsidenten der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

War im Vorjahr „Arzneimittelsicherheit“ das Thema des jährlichen Bioethik-Symposiums, so stand 2016 die Lebensmittelsicherheit im Fokus: sicher ein Thema, das alle Menschen betrifft. Geht es doch um die Gewinnung von Lebensmitteln unmittelbar aus der Natur, um deren Weiterverarbeitung, Lagerung und Vertrieb. Es stellen sich Prüfungs- und rechtliche Regelungserfordernisse im regionalen, nationalen und internationalen Raum. So galt auch das diesjährige Symposium den Fragen der Forschung, der Praxis der Lebensmitteluntersuchung und dem gesetzlichen Schutz für den Verbraucher.

Frau *Prof. Dr. C. Müller-Goymann* führte mit wenigen Beispielen von unvorhersehbaren Vergiftungs- und Infektionsfällen (Salmonellen, EHEC) kurz in die Wichtigkeit der Lebensmittelprüfung ein.

Frau *Prof. Dr. Petra Mischnick*, Institut für Lebensmittelchemie der TU Braunschweig, ging der Frage nach, was denn „Lebensmittelsicherheit“ bedeutet und was die Forschung zu dieser zentralen Zielsetzung der Lebensmittelherstellung und des -vertriebs beizutragen hat.

Von einem „sicheren Lebensmittel“ (LM) erwarten wir, dass es unsere Gesundheit weder akut noch langfristig schädigt oder gefährdet. Schädliche Stoffe sollen die auf wissenschaftlicher Grundlage gefundenen Grenz- oder Richtwerte nicht übersteigen. Daneben berührt der Aspekt der Gesundheitsgefährdung auch die Kennzeichnung. Eine falsche oder irreführende Deklaration von Inhaltsstoffen kann das Ernährungsverhalten fehlleiten und langfristige gesundheitliche Folgen haben. Manche Stoffe müssen explizit ausgewiesen sein (z.B. Allergene, Alkohol, Gluten, Lactose), da sie für bestimmte Personengruppen ggf. eine massive Gefährdung darstellen können.

Die Sicherheit eines LM allein ist kein absolutes Merkmal. Es geht immer auch um das „wie viel“ oder „wie oft“, um das „in welcher Kombination“, nicht nur um das „was“. Wir müssen über die Lagerung, die küchentechnische Zuberei-

tung und Hygiene im Umgang mit Lebensmitteln Bescheid wissen. Bewertungen, wieviel an kritischen Stoffen wie Dioxinen, polycyclischen Aromaten, Halogenkohlenwasserstoffen oder an Schwermetallen akzeptabel ist, unterliegen der Kontrolle durch nationale (Bundesinstitut für Risikobewertung) wie europäische Institutionen (Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit). Mehr unter ethischen als unter gesundheitlichen, ernährungsphysiologischen Gesichtspunkten wollen die Menschen auch wissen, ob ein LM Fleisch enthält, ggf. von welcher Tierart, oder ob bei der Gewinnung oder Produktion des LM Gentechnik im Spiel war. Weitere ethische Aspekte sind „fair trade“, der Einfluss auf Umwelt und Klima sowie Nachhaltigkeit. Ferner sind auch Inhaltsstoffe bzw. Produktionsverfahren zu nennen, die aus religiösen Gründen gemieden werden. Wenn ein LM nicht koscher oder halal ist, besteht kein Defizit an LM-Sicherheit, sondern es geht um ein Recht auf Information, um nach eigenen ethischen, moralischen, religiösen Maßstäben Kauf- und Verzehrentscheidungen treffen zu können.

LM-Sicherheit ist keine neue Erfindung, wenngleich unsere Gesellschaft heute andere Erwartungen damit verbindet als vor 100 Jahren, die Menschen in armen Ländern andere als die in den reichen und satten Gesellschaften. Bereits das Allgemeine Preußische Landrecht von 1794 verbot bei Strafe das Inverkehrbringen von der Gesundheit abträglichen LM. Im Zuge der Industrialisierung und der Reichsgründung von 1871 veränderten sich die Versorgungsstrukturen der Bevölkerung. An die Stelle der Selbstversorgung trat in zunehmendem Maße die Abhängigkeit vom Markt. Verfälschungen von Nahrungs- und Genussmitteln nahmen erschreckende Ausmaße an. Beispielsweise trugen Streckung und Schönung von verdorbener Milch in Berlin zu einer Säuglingssterblichkeit von 40% im ersten Lebensjahr bei. Diese Missstände führten 1879 zum „Gesetz, betreffend den Verkehr mit Nahrungsmitteln, Genussmitteln und Gebrauchsgegenständen“. Da es aber an ausreichenden Kenntnissen und analytischen Methoden mangelte, blieb die Wirkung dieses Verbraucher-Schutz-Gesetzes begrenzt. Als Konsequenz folgten 1894 die „Vorschriften betreffend die Prüfung der Nahrungsmittel-Chemiker“. Die Fragen, die sich Ende des 19./Anfang des 20. Jahrhunderts zur Sicherung der LM-Sicherheit an die Forschung stellten, richteten sich folglich auf die Entwicklung von adäquaten Analysemethoden mit dem Ziel, Kenntnisse über die natürliche oder übliche Zusammensetzung von Nahrungs- und Genussmitteln zu erhalten sowie die Fähigkeit zu entwickeln, Abweichungen qualitativ und quantitativ zu erfassen. Das stellte für die LM-Überwachung eine hohe Herausforderung dar. Joseph König (1843-1930), oft als „Vater der Lebensmittelchemie“ bezeichnet, engagierte sich auf diesem Feld in herausragender Weise.

Heute besitzen wir ein reichhaltiges Wissen über die Zusammensetzung von Lebensmitteln und validierte Analysemethoden, die es uns erlauben, die Einhaltung der gesetzlichen Bestimmungen zu überwachen. Mit zunehmender

Nachweisempfindlichkeit und Selektivität der Analytik werden aber auch neue Kontaminanten und Artefakte gefunden, deren Schädigungspotenzial bewertet werden muss. Hinzu kommen neue Zusatzstoffe bzw. Regularien, z.B. für Nanopartikel, deren Wirkung untersucht und deren qualitative und quantitative Analytik entwickelt werden muss. Der Forschungsbedarf im Bereich der Hochleistungs- und funktionellen Analytik wächst. Hieran arbeiten die Physikalisch-Technische Bundesanstalt und die Bundesanstalt für Materialforschung. Letztere stellt z.B. zertifizierte Referenzmaterialien für die Analytik her. Hierzu gehören z.B. auch Nanopartikel mit definierter und enger Größenverteilung. Dabei müssen analytische Verfahren empfindlich und verlässlich, schnell, robust und kostengünstig sein. Ungewollt ist die Kontamination infolge der Migration von Stoffen aus Verpackungsmaterial in das darin befindliche Gut, z.B. von Mineralöl auf Schokolade in Adventskalendern. Da Kartonverpackungen überwiegend aus Altpapier hergestellt werden, das mit Druckfarben und deren Lösungsmitteln, mit Klebstoffen und Additiven behaftet sein kann, die beim Recyclingprozess nicht vollständig entfernt werden können, ist die Gefahr der Kontamination nicht unerheblich. Erforscht wird auch die direkte Migration von niedermolekularen Verbindungen aus polymeren Kontaktmaterialien (z.B. aus Babyschnullern oder Spielzeug in Kontakt mit Speichel oder Schweiß). Forschungsarbeiten dazu umfassen die Analytik der Verpackungs- und Kontaktmaterialien hinsichtlich möglicher Kontaminanten und Restmonomere, das Ausmaß von Migration, aber auch der Wirkung der infolge von Migration ungewollt oral aufgenommenen Stoffe und deren Veränderung im Verdauungstrakt.

Oft geht es dem Verbraucher nicht nur um den Nährwert (Kalorien) sondern auch um gesundheitsbezogene Angaben. Dies schlägt sich auch in Forschungsaktivitäten zu sekundären Pflanzeninhaltsstoffen nieder, bei denen aufgrund epidemiologischer Studien ein positiver Effekt (z.B. zur Prävention von Krebs oder Herz-Kreislauferkrankungen) vermutet wird.

Ein anderes Beispiel aus diesem Bereich sind die Pyrrolizidinalkaloide (PA) von verschiedenen Pflanzen. Mehr als 600 Strukturen dieser akut lebertoxischen und chronisch cancerogenen PAs aus ca. 600 Pflanzen sind bekannt. Z.T. treten hohe Einzelbelastungen auf, was in Hinblick auf Säuglinge, Schwangere und Stillende für einschlägige Teeprodukte durchaus bedenklich ist. Die Kontaminationen sind hier erntetechnisch bedingt. Maschinelle Ernte führt zum Eintrag von unerwünschtem Pflanzenmaterial, das dann im Produkt verbleibt. Bei den Salatkräutern sind es die für die „Grüne Soße“ (Borretsch!) gebrauchten, die in der Regel hoch mit PA belastet sind.

Auch bei der Verarbeitung von LM können gefährdende Stoffe entstehen (z.B. Acrylamid oder Nitrosamine). Wegen hoher Acrylamidgehalte z. B. in frittierten Kartoffelprodukten und Kartoffelchips, oder auch Knäckebrötchen, Kracker, Toast und Kaffee wurde 2002 von der Schwedischen National Food Agency Alarm

ausgelöst. Daraufhin widmeten sich verschiedene Forschungsgruppen der Frage, woraus und wie dieses Artefakt entsteht. Untersuchungen besonders belasteter Produkte legen nahe, dass die Gefährdung auf eine Reaktion zwischen Aminosäuren (Protein) und Kohlenhydraten zurückzuführen sein sollte. Derartige „Maillard-Reaktionen“ beschreiben die vielfältige Entwicklung von Aromen, die Bräunung- und Krustenbildung beim hohen Erhitzen und Wasserverlust, wie man es vom Backen und Braten kennt. Modellreaktionen mit der in Kartoffeln frei vorkommenden Aminosäure Asparagin und Glucose, die als Baustein der Stärke aus Mehl und Kartoffeln der wahrscheinlichste Kohlenhydratvertreter war, zeigten, dass diese Kombination die höchsten Acrylamidgehalte hervorbringen konnte. Auf dieser Grundlage konnte auch der Einfluss der Reaktionsbedingungen wie Temperaturverlauf, Wassergehalt oder pH-Wert untersucht werden, um gezielt Minimierungsstrategien zu entwickeln. Dank solcher Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen hat man die Gehalte dieses potentiell cancerogenen Artefakts unter die von der europäischen Kommission für verschiedene Warengruppen festgelegten Richtwerte senken können. Dies ist auch ein Beispiel, dass LM-Sicherheit auch in der Hand des Konsumenten liegen.

Weitere Beispiele der Forschung zur Verbesserung der LM-Sicherheit sind die Suche nach biotechnologischen Alternativen zu chemischen Prozessen und die Darstellung von Speisewürzen mit synergistischen Peptidasegemischen wie auch der gezielte enzymatische Abbau der prolinreichen Sequenzen (Prolamine) in Gluten, die für Personen mit Glutenunverträglichkeit kritisch sind. Hierfür müssen geeignete Enzyme, z.B. aus Basidiomyceten gefunden und umfassend charakterisiert werden, da auch die Zulassung solcher Enzyme hohen Sicherheitsanforderungen der EFSA unterliegt.

Die Fragen an die Forschung haben sich seit Joseph König ausdifferenziert und bewegen sich heute stärker an den interdisziplinären Grenzlinien zur Ernährungswissenschaft, Medizin, Mikrobiologie und (Bio)Technologie. Daneben ist die Anforderung an die Analytik hinsichtlich Nachweisgrenzen und Selektivität enorm gestiegen und durch Funktionsanalytik erweitert. Das starke Interesse von Herstellern, Produkte mit Gesundheitsversprechen aufzuladen, stellt die Forschung in die Verantwortung, hier unabhängig und gemäß guter wissenschaftlicher Praxis den spannenden Fragen, die sich in der Wissenschaft immer wieder neu stellen, nachzugehen. Aber auch die Verbraucher müssen ihren Beitrag zur LM-Sicherheit durch kritischen Umgang mit Heilsversprechen und sachgemäße Lagerung und Zubereitung leisten.

Herr Dr. Ulrich Nehring, Institut für Lebensmittelprüfung GmbH Braunschweig, gab einen Einblick in die *Praxis der Lebensmitteluntersuchung*. Sie erfolgt durch die amtliche Lebensmittelüberwachung und wird durch die von Herstellern und Inverkehrbringern von Lebensmitteln im Rahmen ihrer Sorgfaltspflichterfüllung durchgeführt. Andere Aufgaben sind Forschung und Produktentwicklung, Über-



prüfungen der Spezifikationsstreuung von Lebensmitteln und Vergleichsuntersuchungen.

Der Verbraucherschutz in Deutschland stützt sich auf ein sehr detailliertes Lebensmittelrecht, das ausschließlich ein Verbraucherschutzrecht ist. Es umfasst die Lebensmittelsicherheit, den Schutz von Verbrauchern vor Gesundheitsgefahren und Verbraucherinformationen, d.h. den Schutz von Verbrauchern vor Täuschung und Irreführung.

Die Einhaltung strenger gesetzlicher Anforderungen an Lebensmittel wird vor allem durch die Sorgfaltspflicht der Hersteller und Inverkehrbringer, durch Zulassung von Betrieben, die besonders empfindliche Lebensmittel wie Fleisch-, Fisch- und Milcherzeugnisse herstellen, und schließlich durch eine amtliche Lebensmittelüberwachung sichergestellt.

Hersteller und Händler müssen umfangreiche Eigenkontrollen ihrer Rohstoffe, Zwischenprodukte und Enderzeugnisse durchführen. Sie bedienen sich dabei ihrer eigenen Labore und unabhängiger Prüfinstitute. Lebensmittel werden im Rahmen dieser Kontrollen auf sensorische Eigenschaften, wertbestimmende Bestandteile, Nährstoffgehalte, diverse Kontaminanten wie Pestizide, Mykotoxine oder Schwermetalle, Mikroorganismen, Zusatzstoffe, Allergene, natürliche gefährliche Inhaltstoffe wie Acrylamid und auf ihre Authentizität, also ihre Identität und Herkunft untersucht.

An sechs Beispielen wurde im Vortrag die Methodik und Leistungsfähigkeit moderner Lebensmittelanalytik dargestellt.

1. *Nachweis von Pestiziden in Lebensmitteln:* Mit Multimethoden (GC-MS/MS und HPLC-MS/MS) werden Lebensmittel auf Rückstände von bis zu 500 Wirkstoffen mit einer Nachweisgrenze von 1 µg/kg untersucht.
2. *Herkunftsnachweis bei Lebensmitteln:* Sind ausreichende Vergleichsdaten verfügbar, lässt sich mit einer Stabil-Isotopen-Analyse die Herkunft von Lebensmitteln sicher nachweisen.
3. *Nachweis gentechnisch veränderter Organismen:* Gentechnisch veränderte Organismen können in Lebensmitteln sehr empfindlich mittels der genetischen Polymerase-Kettenreaktion (PCR) festgestellt werden.
4. *Untersuchung von Stoffübergängen aus Verpackungen:* Zur Überprüfung des gesamten Spektrums an Stoffen, die aus Kunststoffverpackungen auf Lebensmittel übergehen können, bedient man sich heute moderner non-targeted-Screening Analysen in Kombination mit Bio-Assays. Der analytische Nachweis der Stoffe erfolgt dabei mit GC-MS/MS und HPLC-(TOF)MS.
5. *Nachweis von Mineralöl-Bestandteilen in Lebensmitteln:* Vor allem aus Recycling-Karton- und Papierverpackungen können Mineralöl-Bestandteile

auf Lebensmittel übergehen. Der Nachweis solcher Übergänge erfolgt mit einer Kopplung aus HPLC und GC-FID und einem aufwendigen Auswertungsverfahren.

6. *Nachweis von Salmonellen mit Real-Time-PCR*: Salmonellen können in vielen Lebensmitteln vorkommen und stellen ein besonderes Gesundheitsrisiko dar. Mit Hilfe eines Real-Time-PCR Verfahrens lassen sich Salmonellen in nur 24 Stunden nachweisen. Mit herkömmlichen Prüfverfahren wurden dazu 4 Tage benötigt.

Prüflabore, die in der Lebensmittelüberwachung tätig sind, müssen ein Qualitätsmanagementsystem betreiben und nach DIN EN ISO(IEC 17025 durch eine unabhängige Stelle akkreditiert sein. Mit der Akkreditierung müssen die Prüflabore ihre Kompetenz und die kontrollierte und dokumentierte Qualitätssicherung für die angewandten analytischen Prüfmethoden nachweisen.

Am Beispiel des Tätigkeitsberichtes der niedersächsischen amtlichen Lebensmittelüberwachung (LAVES) aus 2014 wurden die Befunde der Kontrollen dargestellt. Von 21.494 untersuchten Proben wurden 4.470 Proben beanstandet: davon 2.023 aufgrund von Mängeln der Lebensmittelkennzeichnung. Nur 15 Proben wurden wegen gesundheitsgefährdender oder gesundheitsschädlicher Mängel mikrobiologischer oder sonstiger Art beanstandet. Dieses Bild deckt sich mit den Erfahrungen des Referenten aus der eigenen Kontrolltätigkeit.

Die Kontrolle des Lebensmittelangebotes muss in Zukunft so ausgebaut werden, dass auch die Sicherheit von im Internet gehandelten Produkten und Produkten, die aus Drittländern in die EU importiert werden, umfassend gewährleistet ist. Wissenschaftliche Herausforderungen stellen vor allem die Bewertung von Kombinationseffekten gesundheitlich bedenklicher Stoffe und der Nachweis natürlicher funktioneller Inhaltsstoffe in Lebensmitteln dar.

Als Fazit ist festzuhalten, dass unsere Lebensmittel mit sehr modernen Verfahren umfassend untersucht werden. Die Untersuchungen finden vor allem im Auftrag der Hersteller und Händler von Lebensmitteln zur Erfüllung der lebensmittelrechtlichen Sorgfaltspflicht statt. Nur sehr selten gibt es bei den Untersuchungen begründeten Anlass, die gesundheitliche Unbedenklichkeit der Produkte in Frage zu stellen. Eine fehlerhafte Kennzeichnung der Lebensmittel ist der häufigste Beanstandungsgrund.

Der Referent eröffnete einen weiten Horizont nationaler und internationaler Praktiken zum Lebensmittelschutz.

Frau *Ursula Müller* vom Nds. Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (ML), Referat Lebensmittelkontrolle, Hannover, widmete sich den *Regulatorischen Aspekten* und stellte Rechtsgrundlagen sowie den Aufbau der amtlichen Lebensmittelüberwachung am Beispiel Niedersachsen dar.

Der gesundheitliche Verbraucherschutz ist ein in der Europäischen Union harmonisierter Rechtsbereich, basierend auf den Vertrag zur Gründung der Europäischen Gemeinschaft (mit Wirkung zum 01. Dezember 2009 in Vertrag über die Arbeitsweise der Europäischen Union umbenannt) auf Basis Europäischer, Deutscher und Ländergesetzgebung.

Es gilt der Grundsatz „Vom Stall bis auf den Tisch“. Ausschließlich sichere Lebensmittel dürfen in den Verkehr gebracht werden („nicht sicher“ heißt gesundheitsschädlich oder ungeeignet). Die Verantwortung für die Sicherheit der von ihm hergestellten und in den Verkehr gebrachten Lebensmittel liegt beim Lebensmittelunternehmer (LMU).

*Verordnung (EG) Nr. 178/2002* erlässt Grundsätze zur behördlichen Überwachung. So ist die amtliche Überwachung verpflichtet, zu überprüfen, ob der LMU seinen Verpflichtungen nachkommt, ggf. werden bei Verstößen Sanktionen verhängt.

*Verordnung (EG) Nr. 882/2004* legt allgemeine Grundsätze für die Durchführung amtlicher Kontrollen von Futtermitteln und Lebensmitteln unter Beachtung von Tiergesundheits- und Tierschutzaspekten fest. Dabei müssen Kontrollen und Probenahmen in angemessener Häufigkeit und risikoorientiert vorgenommen werden. Die Etablierung von Qualitätsmanagementsystemen in den amtlichen Überwachungsbehörden ist verpflichtend. Krisenmanagementpläne und Schnellwarnsysteme sind ebenfalls zu implementieren.

Die *Verordnung (EG) Nr. 852/2004* legt für den LMU Anforderungen an Räume, Hygiene und den Umgang mit Lebensmitteln fest und verpflichtet ihn auf Eigenkontrollsysteme incl. Hygieneüberwachung sowie Implementierung eines HACCP Konzeptes, welches der Vermeidung von Gefahren im Zusammenhang mit Lebensmitteln, die zu einer Erkrankung von Verbrauchern führen können, dient.

*Verordnung (EG) Nr. 853/2004* benennt weitere Voraussetzungen für den Umgang mit Lebensmitteln tierischer Herkunft. Ein Betrieb, der Lebensmittel tierischer Herkunft herstellt, bedarf grundsätzlich der behördlichen EU-Zulassung, für gewisse Bereiche sind jedoch Ausnahmen vorgesehen.

*Verordnung (EG) Nr. 854/2004* wendet sich an die Überwachungsbehörde. Sie legt Anforderungen an die amtliche Überwachung von Betrieben, die tierische Lebensmittel herstellen, fest. Sie fordert amtliche Schlacht tier- und Fleischuntersuchungen bei bestimmten Tierarten und regelt die Aufgaben des Untersuchungspersonals.

Die *Deutsche Gesetzgebung* ist unter anderem im Lebensmittel- und Futtermittelgesetzbuch (LFGB) festgehalten. Wie im Europäischen Gesetz steht auch hier der Verbraucherschutz oben an. Es gilt der Grundsatz des Schutzes des Verbrauchers vor einer Gefahr für die menschliche Gesundheit durch Lebensmittel,

Futtermittel, kosmetische Mittel und Bedarfsgegenstände mittels Vorbeugen wie auch der Schutz vor Täuschung.

Das LFGB listet auch strafrechtlich zu verfolgende und bußgeldbewehrte Tatbestände auf.

Komplexe Kontrollsysteme der amtlichen Lebensmittelüberwachung haben die Lebensmittelsicherheit, den Tierschutz, die Tiergesundheit, die Futtermittelsicherheit und die Pflanzengesundheit (im Blick auf nicht-tierische Lebensmittel) im Auge. Hier sei das Schnellwarnsystem für nicht sichere Lebensmittel, Futtermittel und Bedarfsgegenstände der EU erwähnt. Die Kontaktstelle in Niedersachsen ist beim Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (LAVES) in Oldenburg lokalisiert.

Das niedersächsische landesweite Qualitätsmanagementsystem (EQUINO) soll eine einheitliche Vorgehensweise aller beteiligten Überwachungsbehörden sicherstellen.

Insgesamt überwachen in Niedersachsen 42 Kommunale Veterinär- und Lebensmittelüberwachungsbehörden ca. 56.000 landwirtschaftliche Betriebe. Über die betriebliche Eigenkontrolle hinaus unterliegen Lebensmittelunternehmen amtlichen Kontrollen, amtlichen Probenahmen und bedürfen ggf. einer Zulassung durch das LAVES, das wiederum dem ML untersteht. Allerdings erfolgen seitens der Überwachungsbehörden und seitens des LAVES auch operative Beratungen der LMU.

Kontrolle der Lebensmittelsicherheit erfolgt risikoorientiert und zielt im Besonderen auf ein verdächtiges Produkt, auf Verarbeitungsmethoden, auf die Einhaltung von Hygiene- und Bauvorschriften, auf Eigenkontrollsysteme und die Qualifikation der Betriebsführung.

Die Abschätzung eines Produktrisikos wird nach dem Gefahrenpotenzial des Lebensmittels (z. B. chemisch durch Schwermetalle, Dioxine u.a.; mikrobiologisch durch Salmonellen und physikalisch durch Steine u.a.) unter Berücksichtigung der Eintrittswahrscheinlichkeit (resultierend aus Verzehrmenge (z.B. Fleisch <> Gewürze), Pathogenität des Erregers, etc.) vorgenommen.

Dabei trägt der LMU eine hohe Verantwortung, indem er eigenständig eine Risikoanalyse der von ihm praktizierten Herstellungsprozesse durchführen muss. Auch diese Risikoanalyse wird seitens der jeweils zuständigen Behörde überprüft.

Ist ein nicht sicheres Lebensmittel bereits in den Handel gelangt, ist der verantwortliche LMU verpflichtet, eine Rücknahme oder falls nötig einen öffentlichen Rückruf einzuleiten. Die zuständige Behörde überwacht diese seitens des LMU eingeleiteten Maßnahmen. Eine schnelle Information aller beteiligten Behörden ist durch Einstellung des Sachverhaltes in das Schnellwarnsystem der

Behörden gewährleistet. Ebenfalls wird der Verbraucher – sollte das betroffene Produkt den Endverbraucher bereits erreicht haben – über die Plattform [www.lebensmittelwarnung.de](http://www.lebensmittelwarnung.de) öffentlich gewarnt.

Weitere Möglichkeiten zur Information des Verbrauchers sind Pressemitteilungen über dpa oder lokale Printmedien, die Auslage von Warnhinweisen in betroffenen Filialen, in Einzelfällen auch individuelle Information. Die Referentin verdeutlichte anhand einiger Beispiele (Schneekoppe Leinöl, Bifteki Hacksteak oder Reisinger) entsprechende Maßnahmen.

Bei Verstößen gegen Hygienevorschriften oder bei Kennzeichnungsmängeln ergreifen die Überwachungsbehörden geeignete und angemessene Maßnahmen zur Behebung von Mängeln: von der mündlichen Anordnung bis zur Betriebschließung auf der Grundlage des LFGB.

Im Krisenfall ist bei länderübergreifenden Vorfällen (z.B. Erkrankungen auf Grund des Verzehr eines Lebensmittels in mehreren Bundesländern) das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) einzuschalten. Die zu ergreifenden Maßnahmen werden in Kooperation mit den betroffenen Ländern, dem Bundesinstitut für Risikobewertung und dem Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit gesteuert. Ggf. erfolgt eine Zusammenarbeit mit der Europäischen Kommission, wenn sich die Krise auf mehrere Mitgliedstaaten ausweitet.

In Niedersachsen regeln der Notfallplan des Landes und das Krisenmanagementhandbuch (KMH) Niedersachsen den systematischen Umgang mit Ereignissen und Krisen (incl. Risikobewertung, -management und -kommunikation) und beschreiben die Maßnahmen zur Bewältigung von Krisen. Das ML koordiniert dabei die nötigen Maßnahmen und steht bei nationalen Krisen in ständigem Kontakt mit dem Bund. Bei der Bewältigung von Krisen arbeiten die zuständigen niedersächsischen kommunalen Überwachungsbehörden, das Landesamt für Lebensmittelsicherheit und Verbraucherschutz (LAVES) - hier insbesondere die beim LAVES angesiedelte Task Force Verbraucherschutz - eng zusammen. Ziele sind das Verbrauchervertrauen aufrecht zu erhalten, mögliche Krisen einzudämmen und aus Krisen zu lernen. Der Vorbeugung dienen landesweite oder nationale Monitoring-Programme.

Strafbewehrte Tatbestände (Verstöße) im Lebensmittelrecht können je nach Tatbestand mit bis zu drei (in besonders schweren Fällen bis zu fünf) Jahren Freiheitsstrafe oder mit Geldstrafen geahndet werden (§§ 58-59 LFGB). Als gravierender Tatbestand ist die Gefährdung einer großen Zahl von Menschen anzusehen. Auch die Gefährdung einer Einzelperson durch schwere Schädigung an Körper oder Gesundheit gilt als gravierender Tatbestand. Geahndet werden auch Handlungen aus grobem Eigennutz oder in der Absicht, größere Vermögensvorteile für sich oder einen anderen zu erlangen.

Bei Verstößen gegen das Lebensmittelrecht können je nach Tatbestand Bußgelder bis zu einer Höhe von 100.000 € festgesetzt werden (§ 60 LFGB).

Was bleibt zu tun zur weiteren kontinuierlichen Verbesserung der Lebensmittelsicherheit?

Landesweite, nationale und EU-weite Implementierung von Systemen zur Risikofrüherkennung und der Ausbau der Systeme zur Bekämpfung von Lebensmittelbetrug (Food Fraud) müssen voran getrieben werden.

Der lebhafteste Vortrag der hochkompetenten Referentin begeisterte das Auditorium und überzeugte die Hörer von der Wichtigkeit und der Komplexität der vielfältigen Systeme der Überwachung zum Verbraucherschutz in Sachen Lebensmittelsicherheit.

Herr Prof. Dr. Reinhard Hehl, Institut für Genetik der TU Braunschweig, hielt einen Vortrag über *Gentechnik im Alltag* und klärte insbesondere über deren Anwendung im Bereich der Lebensmittel auf. Gentechnisch veränderte Organismen (GVO) werden durch den Transfer eines neuen Gens in eine Art erzeugt. Das Gen stammt in der Regel aus einer anderen Art. Verbraucher in Deutschland stehen der Gentechnik kritisch gegenüber und lehnen sie mehrheitlich ab.

Die gesetzlichen Vorgaben in Deutschland sehen eine Kennzeichnungspflicht vor, wenn gentechnisch veränderte (GV) Pflanzen als Lebensmittel in den Verkehr gebracht werden. Aus GV-Pflanzen isolierte Inhaltsstoffe wie z.B. Zucker aus GV-Zuckerrüben oder der Emulgator Lecithin aus GV-Soja sind ebenfalls kennzeichnungspflichtig.

Eine Kennzeichnungspflicht besteht jedoch nicht für Substanzen, die aus gentechnisch veränderten *Mikroorganismen* gewonnen und in der Lebensmittelproduktion eingesetzt werden. So sind beispielsweise Enzyme, die von gentechnisch veränderten Hefezellen produziert und Lebensmitteln zugesetzt oder zu deren Verarbeitung eingesetzt werden (z.B. Enzyme zur Klärung von Fruchtsäften) nicht zu kennzeichnen. Im täglichen Leben lassen sich sehr viele Produkte, die mit Hilfe der Gentechnik erzeugt werden und nicht gekennzeichnet werden müssen, finden. Prof. Hehl belegte dies mit weiteren Beispielen. Die ursprüngliche Gewinnung des Enzyms Lab aus Kälbermagen – notwendig für die Gerinnung der Milch für die Käseherstellung – wurde durch GVO-Gewinnung ersetzt, weil der Bedarf aus Schlachttieren nicht zu decken ist. Neben dem Käse werden Enzyme aus GVO auch für die Fruchtsaftproduktion eingesetzt. Um den Saftertrag zu steigern, werden die Früchte vor dem Auspressen mit zellwandauflösenden Enzymen behandelt, die mit Hilfe von GVO produziert werden.

Neben den Enzymen werden auch viele Lebensmittelzusatzstoffe mit Hilfe von GVO produziert. Das betrifft Vitamine, Geschmacksverstärker (Glutamat) sowie Aminosäuren, die bei der Brotherstellung verwendet werden. GVO produzieren

auch Enzyme, die z.B. für die Synthese des Süßstoffs Aspartam genutzt werden, der als Lebensmittelzusatzstoff zum Süßen von zuckerfreien Getränken nicht der GVO-Kennzeichnung unterliegt.

Für unsere Fleischproduktion reicht die Menge eiweißhaltiger Futtermittel aus eigenem Anbau nicht aus, so dass Soja als wichtiges Futtermittel für die Fleischproduktion importiert werden muss. Der größte Teil des importierten Sojas stammt aus GV-Pflanzen. Die Verpackungen, in denen Soja geliefert wird, sind entsprechend gekennzeichnet. Allerdings müssen das Fleisch, die Eier oder auch die Milchprodukte, welche aus den mit GV-Soja gefütterten Tieren gewonnen werden, nicht gekennzeichnet werden.

In den letzten Jahren wurden Methoden entwickelt, die eine gezielte Modifizierung vorhandener Gene eines Organismus ermöglichen, so dass eine Änderung der Eigenschaft durch ein Fremdgen nicht notwendig ist. Diese Methoden ergänzen die vorhandenen Methoden der Erzeugung gentechnisch veränderter Organismen. Gerade bei höheren Pflanzen wurde mit dieser Methode schon viel erreicht. Beispielsweise wurde herbizid-resistenter Raps entwickelt. Durch Mutation im Phenylpropanstoffwechsel wurden Champignons entwickelt, die bei Lagerung und mechanischer Belastung nicht mehr braun werden. Dabei führt man ein speziell modifiziertes Gen in die Organismen ein, welches ein Protein synthetisiert, das entweder selber oder mit Hilfe einer kleinen Leit-RNA genau die zu verändernde Stelle im Genom findet. Ist das Protein nun selber eine sogenannte Nuclease oder wurde es mit einer Nucleasedomäne fusioniert, wird im Genom an einer genau vorhergesagten Stelle eine Mutation eingeführt. Dies geschieht durch einen Doppelstrangbruch und nachfolgende Reparatur, bei der es zu Sequenzveränderungen kommt. Dies führt dazu, dass ein bestimmtes Genprodukt zum Beispiel für den Phenylpropanstoffwechsel nicht mehr produziert wird. Falls zwei Doppelstrangbrüche in räumlicher Nähe eingeführt werden, können auch ganze Genbereiche ausgetauscht werden, indem man die homologe neue Sequenz ebenfalls in die Zelle einführt. Diese neue Gensequenz kann ein etwas verändertes Protein kodieren. Solche Veränderungen werden mit TALEN, Zinkfingernucleasen oder CRISPR/cas9 Systemen erreicht. Obwohl für diese Veränderungen Methoden der Gentechnik eingesetzt werden, ist der Organismus, in dessen Genom die Veränderung eingeführt wurde, kein GVO, da er kein Fremdgen trägt. Gegner haben diese Methode bereits als „Gentechnik durch die Hintertür“ bezeichnet, wobei entsprechende gesetzliche Regelungen, wie mit diesen neuen Methoden zu verfahren ist, noch ausstehen.

## „Schlusswort“

Lebensmittelsicherheit zum Verbraucherschutz ist national und international wissenschaftlich und praktisch eine dringliche Aufgabe. Die Vorträge haben

diese in ihren vielfältigen Aspekten deutlich gezeigt: von der Grundlagenforschung zur Praxis der Lebensmittelkontrolle und deren rechtlichen Regelungen. So bleibt der Dank an die engagierten Referenten und an das interessierte Publikum.



## **Vortragsveranstaltung „32. Braunschweiger Floristentreffen“**

Veranstaltungstag: 26.11.2016, 14.00 Uhr

in Kooperation: Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft  
Institut für Pflanzenbiologie der TU Braunschweig  
Arbeitsgruppe Vegetationsökologie

Veranstaltungsort: Institut für Pflanzenbiologie der TU Braunschweig  
Humboldtstraße 1, D-38106 Braunschweig

Begrüßung: *Prof. Dr. Dietmar Brandes*  
Präsident der BWG, TU Braunschweig

**„Einführung in das Thema: Open Science, Ehrenamt und Citizen Science –  
Wer erforscht eigentlich die Flora?“**

*Stephan Pfützenreuter*

Thüringer Ministerium für Umwelt, Energie und Naturschutz, Referat Arten- und  
Biotopschutz, Waldökologie

**„Die Öffentlichkeitsarbeit im EU-Life-Projekt „Steppenrasen Thüringens“  
– ein Beitrag zur Förderung von Citizen Science?“**

*Prof. Dr. Ulrich Reimers*  
TU Braunschweig und MBWG

**„AviSON: Citizen Science in der Avifaunistik Süd-Ost Niedersachsen“**

*Dr. Annemarie Schacherer*  
NLWKN Hannover

**„Berücksichtigung ehrenamtlich erhobener Daten in der behördlichen Na-  
turschutzarbeit“**

# ÖFFENTLICHE VORTRÄGE

## Vortragsreihe im phaeno, Wolfsburg „MECHANIK“

Veranstaltungstage: 14.01., 18.02. und 10.03.2016

Veranstalter: Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft  
Akademie der Wissenschaften zu Göttingen  
Science Center phaeno, Wolfsburg

Veranstaltungsort: phaeno Wissenschaftstheater  
Willy-Brandt-Platz 1, D-38440 Wolfsburg

Zum 10. Mal veranstalteten die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft und die Akademie der Wissenschaften zu Göttingen gemeinsam mit dem Science Center phaeno eine Vortragsreihe. Die neue Reihe begleitete die neue große Sonderausstellung MechanixX (ab 03.10.2015) im 10. Jubiläumsjahr des phaeno. Die Reihe wurde durch zwei Vorträge aus der Konzernforschung der Volkswagen AG ergänzt, die weitere spannende Aspekte des zentralen Themas Mechanik gaben.

### **Do., 14.01.2016, 18.30 Uhr**

*Prof. Dr. Eberhard Bodenschatz*

Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation, Göttingen

Von 1992 bis 2005 arbeitete Eberhard Bodenschatz als Professor für Experimentalphysik an der Cornell University. Im Jahr 2003 wurde er Direktor am Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation in Göttingen. Seit 2005 ist er Direktor und Adjunct Professor of Physics und Adjunkt Professor of Mechanical and Aerospace Engineering an der Cornell University. Seit 2007 ist er Professor der Physik an der Universität Göttingen.

### **„Das Rätsel liegt in den Wolken“**

Die Vorhersage der Klimaentwicklung der Erde ist eines der schwierigsten und vielleicht wichtigsten Probleme, die die Wissenschaft derzeit untersucht. Die Kopplung der verschiedensten Prozesse macht eine genaue Prognose äußerst schwierig. Dabei stellt die Dynamik turbulenter Wolken die größte Herausforderung.

Der Vortrag führt die Zuhörer in die physikalischen Prozesse der Wolken- und Regenbildung ein. Einige Experimente werden vorgeführt, um die Problematik anschaulich zu erklären. In dem zweiten Teil des Vortrages wird ein Überblick über die neue Göttinger Turbulenzversuchsanlage und Messungen auf der Zugspitze gegeben.

**Do., 18.02.2016, 18.30 Uhr**

*Prof. Dr.-Ing. Manfred Krafczyk*  
TU Braunschweig und Mitglied der BWG

Manfred Krafczyk ist seit 2001 Professor für rechnergestützte Modellierung im Department Bauingenieurwesen der TU Braunschweig und Mitglied der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft. Er forscht über kinetische Methoden zu Modellierung von Strömungen, Hochleistungsrechnen und Bauinformatik.

### **„Mechanik macht Wirbel: Strömungsmechanik in silico“**

Wir sind umgeben von materiellen Strömungen aller Art, bei denen Luft und Wasser die dominierenden Elemente unserer Alltagserfahrung darstellen. In vielen technischen und natürlichen Systemen spielen sich komplexe Strömungsprozesse ab, deren kontrollierter oder optimierter Ablauf für unser individuelles als auch gesellschaftliches Funktionieren essentiell ist. Daher ist man schon seit langer Zeit in Wissenschaft und Technik bestrebt, Strömungsprozesse zu verstehen und vorherzusagen.

In diesem Vortrag wurde erläutert, wie Strömungen modelltechnisch so beschrieben werden können, dass eine näherungsweise Vorhersage ihres Verhaltens mit Hilfe leistungsfähiger Computer möglich wird. Dies umfasst physikalische, mathematische, algorithmische und ingenieurtechnische Aspekte. Anhand ausgesuchter Beispiele wurden derzeitige Möglichkeiten und Grenzen der rechnergestützten Strömungsvorhersage vorgestellt.

**Do., 10.03.2016, 18.30 Uhr**

*Dr.-Ing. Lars Greve und Dipl.-Ing. André Klose*  
Volkswagen AG Konzernforschung Wolfsburg

Lars Greve ist promovierter Ingenieur und arbeitet seit 2000 in der Volkswagen Konzernforschung. Sein Tätigkeitsfeld umfasst die Beschreibung des Deformations- und Bruchverhaltens von Werkstoffen im Automobil für die Simulation unter Crashbelastung.

André Klose ist Ingenieur und arbeitet seit 2013 in der Volkswagen Konzernforschung. Sein Aufgabenbereich umfasst die Bewertung des beanspruchungsgerech-

ten Einsatzes von Materialien in der Karosserie unter Betrachtung des maximal resultierenden Leichtbau-potenzials.

### **„Mechanische Charakterisierung und Modellierung von Materialien für die Fahrzeug-Crashauslegung unter Leichtbauaspekten“**

Steigende gesetzliche Anforderungen zur Absenkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen können von den Autoherstellern nur durch einen konsequenten Leichtbau erfüllt werden. Die Weiterentwicklung neuer Stahl-Legierungen, innovativer Fertigungsverfahren und Verbindungstechniken bieten ein großes Potenzial zur Gewichtsreduktion. Zeitgleich müssen steigende Crash-Sicherheitsanforderungen berücksichtigt werden, was eine genaue Kenntnis der Belastungsgrenzen der Materialien notwendig macht, damit letztendlich auch die „richtigen Materialien am richtigen Platz“ verwendet werden. Die mathematische Formulierung geeigneter Materialmodelle zur Abbildung der mechanischen Eigenschaften und die Entwicklung von numerischen Methoden zur Optimierung von Fahrzeugkonzepten mittels Crash-Simulation spielen dabei eine zentrale Rolle.

## **Akademie-Vorlesungen im Schloss 2016**

### **Der Harz als Natur- und Kulturraum**

Veranstaltungstage: 03.02., 17.03., 06.04., 11.05., 15.06., 26.10. und 23.11.2016

Veranstalter: Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft  
Kulturinstitut der Stadt Braunschweig

Veranstaltungsort: Roter Saal, Kulturinstitut der Stadt Braunschweig,  
Schlossstraße 1, D-38100 Braunschweig

**Mi., 03.02.2016, 18.30 Uhr**

*Prof. Dr. Thomas Scharff*  
Historisches Seminar, TU Braunschweig

### **„Der Harz als Herrschaftsraum im Mittelalter“**

Der Harz wurde im Mittelalter nur langsam besiedelt. Während des ersten Jahrtausends nach Christi Geburt machten die Menschen eher einen Bogen um das Gebirge, als Reichsforst wurde der Harz von den Königen vor allem für die Jagd genutzt. Im 11. und 12. Jahrhundert änderte sich diese Situation grundlegend:

das Krongut im Harz wurde zum Gegenstand von Auseinandersetzungen zwischen Königen und lokalen adligen Familien, in deren Folge eine Vielzahl von Herrschaftsbildungen entstand. Gleichzeitig drangen bäuerliche Besiedelung und Bergbau immer weiter bis in den Oberharz vor, so dass es dort schließlich am Ende des Mittelalters zur Entstehung von Bergstädten kam. Der Vortrag geht anhand von Beispielen den Fragen nach, was die Menschen angetrieben hat, das eigentlich unwirtliche Gebirge zu durchdringen und warum der gesamte Raum verstärkt in Streitigkeiten um Macht und Einfluss hineingezogen wurde.

**Do, 17.03.2016, 18.30 Uhr**

*Dr. Hans-Ulrich Kison*

Leiter des Fachbereichs Naturschutz, Forschung und Dokumentation der Nationalparkverwaltung Harz

**„Walddynamik im Oberharz – Das heutige Vegetationsbild des Oberharzes im Lichte seiner nacheiszeitlichen Geschichte –“**

Etwa ein Zehntel des Harzes, und dieses ganz überwiegend im Oberharz gelegen, ist heute als Nationalpark Harz geschützt. Dieser „Entwicklungsnationalpark“ verfolgt das Ziel, Voraussetzungen dafür zu schaffen, dass eine sekundäre Naturwaldentwicklung einsetzen kann. Reste seiner naturbedingten Vegetation sind noch vorhanden, aber nur als Relikte. Gegenwärtig müssen noch Initialmaßnahmen für die Unterstützung der zukünftigen Entwicklung ergriffen werden, insbesondere zur Förderung der Rotbuche. Diese müssen zum einen an den vegetationsgeschichtlichen Entwicklungen anbinden, die jahrhundertlang Kulturtätigkeit des Menschen berücksichtigen, aber andererseits auch auf aktuelle Fragestellungen reagieren: Welche Rolle spielt die gegenwärtig sehr auffällige und dem Borkenkäfer zugeschriebene Welle des Absterbens der Fichtenbestände? Wird die Fichte auch im Zuge des immer wieder diskutierten Klimawandels im Harz eine Zukunft haben? Wie wird der Wald sein Gesicht wandeln? Der Vortrag will all diese Aspekte aufgreifen und aus Sicht des Großschutzgebietes dessen aktuellen Strategien vorstellen.

**Mi., 06.04.2016, 18.30 Uhr**

*Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult. Friedrich-W. Wellmer*

Präsident a. D. der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover

**„Der historische Bergbau und das Wasserregal im Oberharz“**

Der Blei-/Silberbergbau im Oberharz, im 17. und 18. Jahrhundert eines der großen mitteleuropäischen Industrievierviere, geht auf steil stehenden Gängen (Rissen im

Gestein) um, geologischen Schwächezonen, die auch immer Wasser führten. Somit musste mit dem Erz immer Wasser gefördert werden, um die Bergwerke trocken zu halten. Hierzu dienten Pumpen, die mit großen Wasserrädern angetrieben wurden. Man brauchte also Wasser als Energie. So entstand über Jahrzehnte ein ausgefeiltes Wasserwirtschaftssystem mit 143 Teichen (heute noch 65 angestaut) und 500 km Gräben und Stollen (Tunnel), seit August 2010 das UNESCO Weltkulturerbe Oberharzer Wasserwirtschaftssystem (auch Oberharzer Wasserregal genannt). Da es oft Wasserknappheiten gab, versuchte man auch die Windenergie zu nutzen. Der Universalgelehrte Leibniz verbrachte 165 Wochen in den Jahren 1680 bis 1685 in Clausthal, um die Windkraft einzuführen und um das auf Wasser aufbauende System zu verbessern und zu ergänzen – leider erfolglos.

**Mi., 11.05.2016, 18.30 Uhr**

*Prof. Dr. Wolfgang Leschhorn*

Historisches Seminar, TU Braunschweig

**„Geprägtes Silber aus dem Harz – Münzen und Medaillen im Herzogtum Braunschweig“**

Die Braunschweiger Herzöge nutzten die Silbervorkommen des Harzes jahrhundertlang zur Prägung von Münzen und Medaillen. Die in den Münzstätten des Harzes produzierten Silbermünzen wurden zur Verbreitung politischer Ideen mit eindrucksvollen Bildmotiven und Aufschriften versehen und flossen in den Geldumlauf des Landes. Hervorragende Künstler schufen aus dem Harzsilber repräsentative Medaillen, die an Staatsgäste und verdiente Bürger verliehen wurden.

**Mi., 15.06.2016, 18.30 Uhr**

*Prof. Dr. Dietmar Brandes*

Präsident der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

**„Virtuelle botanische und kulturhistorische Exkursion entlang der Oker“**

Die Oker entspringt in 910 m und mündet nach knapp 130 km in die Aller. Mit einem Gefälle von 865 m und stark schwankender Wasserführung war sie ein gefürchteter Wildfluss, der über Jahrhunderte eine wichtige natürliche Grenze bildete. Die Oker durchfließt zahlreiche Naturräume und berührt viele historisch wichtige Orte. Die Okeraue ist ökologisch hochinteressant, allein die Uferflora beherbergt etwa 25 % der Flora Niedersachsens. Die Oker gehört zu den bestuntersuchten Flüssen Deutschlands.

**Mi., 26.10.2016, 18.30 Uhr**

*Dr. Reimar Lacher*

Gleimhaus Halberstadt

**„Der Harz in der Malerei“**

Große Namen sind mit der Kunstgeschichte der Harzdarstellung verbunden, darunter Weitsch, Goethe und Caspar David Friedrich, aber auch eine hohe Zahl regionaler Meister des 19. und 20. Jhd. Der Vortrag stellt die Meisterwerke wie auch die Breite des Schaffens der Harzmaler vor. Er betrachtet die künstlerische Darstellung des Harz‘ im Zusammenhang mit der Geschichte der Landschaftsmalerei als Bildgattung und wirft dabei Seitenblicke auf die Schilderung anderer Gebirge.

**Mi., 23.11.2016, 18.30 Uhr**

*Prof. Dr. Renate Stauf*

Institut für Germanistik der TU Braunschweig, MBWG

**„Philistertum und sentimentale Naturverklärung. Heinrich Heines Harzreise als Spiegel der deutschen Restauration im Vormärz“**

Heines Fußreise durch den Harz (1824) hat in der deutschen Literatur Epoche gemacht. Mit seiner kühnen Verschränkung von Zeitbild und Selbstbild verweigert sich Heine dem Goethe’schen Muster individueller Annäherung und Aneignung. Die Natur ist hineingenommen in die Erfahrung von Geschichte und kultureller Erinnerung. Unter der Oberfläche seiner Reisebilder brodeln ein revolutionäres Freiheitsbegehren, das zur Entzifferung auffordert.

**Vortragsreihe „Wie kann die Integration von Flüchtlingen  
gelingen? Psychologische Aspekte“**

Veranstaltungstage: 13.04., 20.04., 11.05., 25.05., 15.06., 22.06., 29.06.  
und 06.07.2016

Veranstalter: Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft  
Abt Jerusalem Akademie Braunschweig  
TU Braunschweig

Kooperationspartner: Diakonie-Stiftung im Braunschweiger Land  
Fachbereich Kinder, Jugend und Familie der Stadt  
Braunschweig

Fachberatung KITAS der Ev.-luth. Landeskirche in  
Braunschweig  
Evangelische Erwachsenenbildung

Veranstaltungsort: Audimax, TU Braunschweig  
Pockelsstraße 15, D-38106 Braunschweig

**Mi., 13.04.2016, 19.00 Uhr**

Grußwort: *Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Jürgen Hesselbach*  
Präsident TU Braunschweig

*Dr. Ibrahim Özkan*

Leitender Psychologe des Schwerpunktes für Kulturen, Migration und psychische  
Krankheit, Asklepios Fachklinik Göttingen

**„Angekommen: Was Flucht und Migration mit den Menschen machen.“**

**Mittwoch, 20.04.2016, 19.00 Uhr**

Grußwort: *Prof. Dr. Dietmar Brandes*  
Präsident der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

*PD Dr. Claudia Catani*

Universität Bielefeld, Abteilung für Psychologie, Klinische Psychologie und  
Psychotherapie

**„Familien im Krieg – transgenerationale Weitergabe von Gewalt und psy-  
chische Gesundheit im Kontext von Krieg und Verfolgung“**

**Mi., 11.05.2016, 19.00 Uhr**

Grußwort: *Dr. Christoph Meyns*  
Landesbischof, Evangelisch-lutherische Landeskirche in Braunschweig

*Volker Jung, Darmstadt*

Kirchenpräsident der Evangelischen Kirche Hessen und Nassau

**„Integration – wie schaffen wir das?“**

Anschließende Podiumsdiskussion mit Dr. Andrea Hanke, Sozialdezernentin  
Braunschweig, und Adalbert Wandt, Vizepräsident IHK Braunschweig, und  
Thomas Hofer, Leiter Theologische Abteilung Landeskirchenamt



**Mi., 25.05.2016, 19.00 Uhr**

*Prof. Dr. med. Jörg Fegert*

Universität Ulm, Direktor der Klinik für Kinder- und Jugendpsychiatrie  
Past-Präsident Deutsche Gesellschaft für Kinder- und Jugendpsychiatrie DGKJP

**„Kurzfristige und mittelfristige Herausforderungen bei der kinder- und jugendpsychiatrischen Versorgung minderjähriger Flüchtlinge“**

**Mi., 15.06.2016, 19.00 Uhr**

*Prof. Dr. Taner Guvenir*

Consultant Child and Adolescent Psychiatrist, ehem. UNICEF Beauftragter,  
Medical Director, Inpatient CAMHS of Dokuz Eylul University, Izmir, Türkei

**„Universal versus cultural aspects of parenting; Triple P experiences in Turkey“**

**Mi., 22.06.2016, 19.00 Uhr**

*Prof. Dr. Birgit Leyendecker*

Universität Bochum, Fachbereich für Psychologie, Institut für Entwicklungspsychologie

**„Integration von Kindern mit Fluchterfahrungen in Kitas“**

**Mi., 29.06.2016, 19.00 Uhr**

*Prof. Dr. Frank Neuner*

Universität Bielefeld, Institut für Psychologie

**„Die Kraft der Erzählung: Narrative Expositionstherapie zur Behandlung traumatisierter Flüchtlinge“**

**Mi., 06.07.2016, 19.00 Uhr**

*Prof. Dr. Nina Heinrichs und PD Dr. Christoph Kröger*

TU Braunschweig, Institut für Psychologie

**„Psychische Störungen bei Asylbewerbern in Braunschweig“**

*Prof. Dr. Wolfgang Schulz und Prof. Dr. Kurt Hahlweg (MBWG)*  
 TU Braunschweig, Institut für Psychologie

**„Prävention kindlicher Verhaltensstörungen: Ergebnisse einer 10-jährigen  
 Langzeitstudie bei Migranten“**

**Themenreihe „Naturphilosophie in der Praxis“**

Veranstaltungstage: 30.08., 29.09., 26.10., 15.11. und 30.11.2016

in Kooperation: Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft  
 Evangelische Akademie Abt Jerusalem  
 Forschungsstätte der Evangelischen Studiengemeinschaft  
 e. V. (FEST - Institut für interdisziplinäre Forschung),  
 Heidelberg,  
 Umweltbeauftragter der Ev.-luth. Landeskirche in  
 Braunschweig

Veranstaltungsort: Abt Jerusalem-Akademie  
 Alter Zeughof 2/3 (an der Brüdernkirche)  
 D-38100 Braunschweig

**Di., 30.08.2016, 19.00 Uhr**

*Prof. Dr. Nicole C. Karafyllis*  
 Seminar für Philosophie, TU Braunschweig, MBWG

**„Von Bienen und Blumen ... - Zur aktuellen Lage der Natur aus ethischer  
 Sicht“**

Bis in die jüngste Zeit war die Biene für die Umweltethik kein Thema. Naturphilosophisch wird sie aber quer durch die Jahrhunderte beachtet – von Aristoteles bis Francis Bacon. Auf der Veranstaltung wird erläutert, was uns die Biene bedeutet und auf welche Weise sie zu einem „politischen Tier“ geworden ist. Gerade das jüngere Bienensterben fordert die Naturethik auf, die Wechselwirkungen zwischen Natur, Pflanze und Landschaft stärker zu berücksichtigen, was v. a. seit der Energiewende und der Züchtung von neuen Industriepflanzen akut ist. Denn die Bienen sind davon direkt betroffen. In die Aufmerksamkeit wurde das gemeinsame Ziel gerückt, sich der Schutzwürdigkeit auch derjenigen Tiere zu widmen, die dem Menschen nicht ähnlich sind – aber von denen wir abhängen.

**Do., 29.09.2016, 19.00 Uhr**

*Prof. Dr. Ulrich Gebhard*

Didaktik der Biowissenschaften, Universität Hamburg

**„Freies Spiel in der Natur - Natur in Bildung und Erziehung“**

Der Mensch ist ökologisch und evolutionär in die Natur eingebunden und „braucht“ sie in einem sehr grundlegenden Sinne. vor dem Hintergrund dieses prinzipiellen ökologischen Zusammenhangs wird in dem Vortrag die These vertreten, dass der Mensch „Natur“ auch noch in weiteren Hinsichten „braucht“: als Erfahrungsraum und als Sinninstanz. „Natur“ vermittelt die Erfahrung von Kontinuität und damit Vertrautheit und zugleich ist sie immer wieder neu. Naturerfahrungen entsprechen so einem grundlegenden Wunsch nach Vertrautheit und zugleich einem ebenso grundlegenden Bedürfnis nach Neuem und Vielfalt. Von Kindern werden die Flächen am meisten geschätzt, die von den Planern „vergessen“ wurden. Ein wesentlicher Wert von Naturerfahrungen besteht in der Freiheit, die sie vermitteln können. Die Wirkung von Natur ereignet sich nebenbei. Der Naturraum wird als bedeutsam erlebt, in dem man eigene Phantasien und Träume schweifen lassen kann und er auf diese Weise eine persönliche Bedeutung bekommt.

**Mi., 26.10.2016, 19.00 Uhr**

*Dr. Heike Baranzke*

Fakultät für Geistes- und Kulturwissenschaften, Bergische Universität Wuppertal

**„Natur essen – Wenn aus Lebewesen Nahrungsmittelprodukte werden“**

Essen ist mehr als ein biologisches Ernährungsgeschehen. Es ist in vielfacher Weise eine Identitätsfrage. Sowohl was, als auch, wie wir essen, ist Ausdruck mehr oder weniger bewusster Einstellungen zur Natur und zu uns selbst. Diese Einstellungen sind ihrerseits durch soziale, kulturelle und sogar durch spirituelle Einflüsse mitgeformt. Mit dem Vortrag sollte der Appetit geweckt werden, Spuren möglicher Sinndimensionen eines nur scheinbar banalen Verhaltens zu entdecken.

**Di., 15.11.2016, 19.00 Uhr**

*Dr. Thomas Kirchhoff*

Forschungsstätte der Ev. Studienstiftung (FEST) Heidelberg

Institut für interdisziplinäre Forschung

**„Wie viel Wildnis wollen wir? – Über nützliche und schöne Natur“**

Wildnis ist immer öfter der Gegenstand medialer Inszenierungen, das Entwicklungsziel von Naturschutz und der Sehnsuchtsort, an dem Menschen Abenteuer erleben wollen. Aber Wildnis stößt auch auf vehemente Ablehnung. Regelmäßig kommt es zu heftigen Kontroversen, wenn Wölfe gesichtet, Nationalparke ausgewiesen oder Wildnisentwicklungsgebiete geplant werden. Der Vortrag machte die Hintergründe dieser unterschiedlichen Einstellungen deutlich. Dazu wurde in kulturwissenschaftlich-naturphilosophischer Perspektive gefragt: Was ist Wildnis? Welche unterschiedlichen positiven und negativen Bedeutungen hat Wildnis in unserer Kultur? Wie kommen diese Bedeutungen zustande? Wie verhält sich das Naturschutzziel „Wildnis“ zu klassischen Zielen des Umwelt- und Naturschutzes, etwa der Erhaltung von Biodiversität, dem Schutz einzigartiger Landschaften und der Sicherung ökologischer Nachhaltigkeit? Auf dieser Basis ließ sich diskutieren: Wie viel Wildnis wollen wir?

**Di., 30.11.2016, 19.00 Uhr**

*Prof. Dr. Dr. Brigitte Falkenburg*

Institut für Philosophie und Politikwissenschaft, TU Dortmund

### **„Quanten und Kosmos - Warum faszinieren sie?“**

Woher rührt die Faszination für den Urknall, die beschleunigte Expansion des Universums, schwarze Löcher und die Hawking-Strahlung, die Verschränkung der Quanten, Schrödingers Katze oder die Viele-Welten-Deutung der Quantentheorie? Welche Naturbilder transportieren diese Vorstellungen? Was gründet in sozialen oder kulturellen Mythen, und was ist physikalische Wirklichkeit? Der Vortrag skizzierte, wie sich die Vorstellungen über die Welt im Kleinen und im Großen im Lauf der Zeit und im Wandel der Kulturen geändert haben, worauf dies beruhte und wie stark uns dieses naturphilosophische Erbe bis heute beeinflusst. Wichtige Stationen sind: die Mikrokosmos-Makrokosmos-Analogien der Renaissance; die Überwindung des mittelalterlichen Weltbilds durch die neuzeitliche Astronomie und Physik; die metaphysischen Welterklärungsansprüche im Zeitalter des Rationalismus und ihre Kritik; das Versagen der klassischen Physik und die Debatte um die Quantentheorie; und schließlich die schwindelerregenden Einsichten der neueren Kosmologie.

## Vortragsveranstaltung „Glockenblumen & Co.“

Veranstaltungstag:	Dienstag, 20. September 2016, 19.00 Uhr
Veranstalter:	Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft Institut für Pflanzenbiologie AG Vegetationsökologie der TU Braunschweig
Veranstaltungsort:	Hörsaal des Instituts für Pflanzenbiologie Humboldtstraße 1, D-38106 Braunschweig
Vortragender:	<i>Prof. Dr. Dietmar Brandes</i> Präsident der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft

Der Vortrag zeigte die Vielfalt der Glockenblumengewächse: Am Beispiel dieser mittelgroßen und weltweit verbreiteten Pflanzenfamilie sollte er das Interesse für die Biodiversität wecken und vertiefen. Die Glockenblumengewächse im heutigen Sinn werden in fünf Gruppen eingeteilt, von denen die Glockenblumen und ähnliche Gattungen (Campanuloideae) mit mehr als 1.200 Arten sowie in die Lobelienartigen (Lobelioideae) mit etwa 1.200 Arten an Hand wichtiger Vertreter vorgestellt werden.

Während die Glockenblumenartigen vor allem in den Gebirgen Europas und Asiens vorkommen, haben die Lobelienartigen ihren Schwerpunkt in den Tropen und Subtropen. Es werden Vertreter aus allen Erdteilen mit ihren Habitatansprüchen vorgestellt. Was verbindet diese so unterschiedlich erscheinenden Pflanzen überhaupt miteinander?

Trotz der weltweiten Verbreitung der Glockenblumengewächse haben viele Arten ein sehr kleines Verbreitungsgebiet (Areal). Wie ist das aus Sicht der Evolutionsbiologie zu deuten?

Gerade die Glockenblumen sind vielen Alpenwanderern vertraut, manche Arten der Gebirge Südosteuropas und Westasiens werden als Steingartenpflanzen kultiviert, einige verwildern in unseren Städten. Warum eigentlich?

## **Vortragsreihe im phaeno, Wolfsburg „Der vermessen(d)e Mensch“**

Veranstaltungstage: 22.09., 20.10. und 24.11.2016

Veranstalter: Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft  
Akademie der Wissenschaften zu Göttingen  
Science Center phaeno, Wolfsburg

Veranstaltungsort: phaeno Wissenschaftstheater  
Willy-Brandt-Platz 1, D-38440 Wolfsburg

Zum 11. Mal veranstalteten die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft und die Akademie der Wissenschaften zu Göttingen gemeinsam mit dem Science Center phaeno eine Vortragsreihe. Die neue Reihe begleitete die neue große Sonderausstellung „Manometer“ des phaeno. Hieran wird sich auch 2017 die Physikalisch Technische Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig mit einem Vortrag beteiligen.

Diese zeigt an über 390 Experimentierstationen zwei Aspekte des Messens. Einerseits gibt es zahlreiche Möglichkeiten, Messungen am eigenen Körper durchzuführen: vom Lungenvolumen über das Hörvermögen bis zur Reaktionszeit. Andererseits vermessen wir die Welt mit unseren Sinnen ständig neu: Wir schätzen Temperaturen, Gewichte, Zeit, Länge, ... was uns – wie zahlreiche Experimente in der Ausstellung zeigen – mal besser oder mal schlechter gelingt. In der neuen Vortragsreihe hatten die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft und die Akademie der Wissenschaften zu Göttingen Referentinnen/en aus unterschiedlichen Fachrichtungen gewonnen, die weiterführende Informationen und Gedanken rund um das Thema „Messen und gemessen werden“ präsentierten.

**Do., 22.09.2016, 18.30 Uhr**

*Prof. Dr. Reinhold Haux*

TU Braunschweig, Medizinische Hochschule Hannover (MHH)

Mitglied der BWG

Reinhold Haux ist seit 2004 Professor für Medizinische Informatik im Peter L. Reichertz Institut für Medizinische Informatik der TU Braunschweig und der MHH sowie Mitglied der BWG. Seine Forschungsschwerpunkte liegen auf den Gebieten Assistierende Gesundheitstechnologien sowie Informationsmanagement und Informationssysteme im Gesundheitswesen.

## **„Die Wohnung als neuer diagnostisch therapeutischer Raum. Zukünftige Medizin im Kontext des vermessen(d)en Menschen“**

Medizin und Gesundheitsversorgung waren und sind im Wandel. Aktuelle Fortschritte zu einer verbesserten Prävention, Diagnostik und Therapie ergeben sich durch neue Informatik-Werkzeuge und Analysemethoden, die zu sogenannten assistierenden Gesundheitstechnologien führten. Bei diesen Technologien spielen Sensoren eine wichtige Rolle. Assistierende Gesundheitstechnologien können körperbezogen am Körper (beispielsweise in Form einer Pulsuhr, eines Beschleunigungssensors oder eines Mobiltelefons) oder im Körper (beispielsweise in einem Herzschrittmacher oder in einer Kniegelenksprothese) sowie raumbezogen (beispielsweise in der Wohnung) gesundheitsrelevante Daten bei Menschen aufnehmen, analysieren und ggf. weiterleiten. Ihre Aufgaben umfassen unter anderem die Alarmierung und Notfallidentifikation (z.B. bei Sturz) sowie die Unterstützung bei Erkrankungen und Funktionsdefiziten.

**Do., 20.10.2016, 18.30 Uhr**

*Prof. Dr. Dr. Michael Marschollek*

TU Braunschweig, Medizinische Hochschule Hannover (MHH)

Michael Marschollek ist Arzt und Informatiker und Professor für Medizinische Informatik an der MHH und der TU Braunschweig. Er forscht in den Bereichen Assistierende Gesundheitstechnologien, Medizinische Informationssysteme und Analyse medizinischer Massendaten.

## **„Messen in Medizin und Sport – Wohin die Reise geht“**

Moderne Medizin ist ohne technische Messverfahren nicht mehr denkbar. Viele diagnostische Methoden beruhen auf der Messung physikalischer oder chemischer Messgrößen. Durch die Miniaturisierung von Messsystemen ergaben sich in den letzten Jahren ganz neue Möglichkeiten zur wiederholten oder dauerhaften Vermessung medizinisch relevanter Größen, die einerseits für die Forschung und andererseits für die Versorgung genutzt werden. Im Bereich Wellness und Sport greift der Trend zur Selbstvermessung um sich („quantified self“).

Was sind die Potenziale dieser Entwicklung aus medizinischer Sicht? Welche Grenzen und welche möglichen Folgen hat die umfassende Vermessung? Diese und weitere Fragen wurden durch Beispiele aus Forschung und Versorgung beantwortet.

**Do., 24.11.2016, 18.30 Uhr**

*Prof. Dr. Stefan Dreizler*

Georg-August-Universität Göttingen

Stefan Dreizler ist seit 2003 Professor für Astrophysik an der Universität Göttingen und seit 2016 Mitglied der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen. Seine fachlichen Schwerpunkte sind stellare und planetare Astrophysik.

### **„Die Vermessung des Universums“**

In der Astrophysik sind wir mit dem Problem konfrontiert, dass unsere Forschungsobjekte sowohl in der Zeit als auch im Raum sehr weit entfernt sind, also einer direkten Vermessung unzugänglich sind. Erst im Zeitalter der Raumfahrt hat sich die Situation etwas verbessert, dadurch, dass Planeten und einige kleinere Himmelskörper aus unserem Sonnensystem mit Raumfahrzeugen erreichbar sind. Andere Sterne als die Sonne oder gar andere Galaxien werden auch weiterhin nur aus der Ferne zu erkunden sein. In der Astrophysik wurden daher sehr interessante Messmethoden entwickelt, um dennoch die Eigenschaften von Planeten, Sternen, Galaxien sowie des gesamten Universums zu erforschen.

Der erste Teil des Vortrags gab einen Überblick, wie die Menschheit bereits im antiken Griechenland von der Messung des Erdumfangs immer weiter ins Universum vorgedrungen ist. Der zweite Teil griff exemplarisch einige aktuelle Instrumente heraus, anhand derer die heutige erreichbare Präzision aufgezeigt wurde. Neben der Vorstellung der Messmethoden waren natürlich auch die daraus gewonnenen bzw. zu gewinnenden Erkenntnisse spannend.



# PREISVERLEIHUNG

## **Verleihung des Braunschweiger Bürgerpreises für herausragende studentische Leistungen**

Veranstaltungstag: 06.12.2016

Veranstalter: Stiftung Braunschweiger Bürgerpreis für herausragende  
studentische Leistungen  
Braunschweigisches Landesmuseum  
Technische Universität Braunschweig  
Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft

Veranstaltungsort: Braunschweigisches Landesmuseum  
Burgplatz 1, D-38100 Braunschweig

Die „Stiftung Braunschweiger Bürgerpreis für herausragende studentische Leistungen“ wurde 1996 von einer der TU Braunschweig eng verbundenen Braunschweiger Bürgerin ins Leben gerufen.

Zweck der Stiftung ist die Förderung besonders begabter Studierender der TU Braunschweig. Ihnen wird der Braunschweiger Bürgerpreis für herausragende studentische Leistungen (zum Beispiel exzellente schriftliche Ausarbeitungen auf hohem wissenschaftlichen Niveau) oder auch für besondere mit herausragendem Engagement und Ideenreichtum betriebene Aktivitäten verliehen.

Die Stiftung unterstützt darüber hinaus bedürftige Studierende der Universität durch finanzielle Hilfen.

### **Programm:**

#### *Begrüßung:*

Heike Pöppelmann

Direktorin des Braunschweigischen Landesmuseums

#### *Preisverleihung und Vorstellung der Preisträger:*

Brigitte Blum

Vorstandsvorsitzende der Stiftung Braunschweiger Bürgerpreis

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Jürgen Hesselbach

Präsident der TU Braunschweig

*Gratulation:*

Prof. Dr. Dietmar Brandes, Präsident der Braunschweigischen  
Wissenschaftlichen Gesellschaft

*Vortrag:*

Prof. Dr. nat. habil. Andreas Waag  
TU Braunschweig, Institut für Halbleitertechnik, BWG

**„Quanten- und Nanometrologie in der Forschungsallianz Hannover – Braun-  
schweig“**

# **MITTEILUNGEN**

## **Veröffentlichungen**

Im Berichtsjahr wurde veröffentlicht:

Jahrbuch 2015 der BWG mit 503 Seiten

## **Geschäftliche Mitteilungen:**

Am 31.12.2016 gehörten der BWG 155 ordentliche Mitglieder an, davon 88 unter 70 Jahren, sowie 65 korrespondierende Mitglieder. Die Zahl der Mitglieder unter 70 Jahren betrug in der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften 30, in der Klasse für Ingenieurwissenschaften 38 und in der Klasse für Geisteswissenschaften 20. Von den ordentlichen Mitgliedern zählten zum Bereich Braunschweig 93, zum Bereich Clausthal 15, zum Bereich Göttingen 7, zum Bereich Hannover 36, zum Bereich Hildesheim 1 und zum Bereich Osnabrück 3. Das Plenum trat am 16.12.2016 zu seiner jährlichen Hauptsitzung zusammen, nahm die Jahresberichte des Präsidenten und der Vizepräsidenten entgegen und beschloss den Haushalt 2017.

In den Wahlsitzungen am 08.04. und am 16.12.2016 wurden die auf der Seite 335 vorgestellten Mitglieder zugewählt.

Das am 10.06.2016 tagende Konzil wählte die Gauß-Preisträgerin 2017 und legte die Feierliche Jahresversammlung auf den 05.05.2017 fest.

# PERSONALIA

## Todesfälle

- 19.02.2016 Kärner, Hermann Christian, Dr.-Ing. Dr. h.c., Prof. em. für Hochspannungstechnik, TU Braunschweig. Korrespondierendes Mitglied der Klasse für Ingenieurwissenschaften seit 1995
- 25.02.2016 Schwink, Christoph, Dr. rer. nat., Prof. em. für Physik, TU Braunschweig. Ordentliches Mitglied der Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften seit 1983
- 16.05.2016 Oexle, Otto Gerhard, Dr. phil. Dr. h. c. mult., Prof. u. Direktor für Geschichte, MPI für Geschichte, Göttingen. Korrespondierendes Mitglied der Klasse für Geisteswissenschaften seit 1989, davor ordentliches Mitglied (1985)
- 10.06.2016 Elbern, Viktor H., Dr. phil. Accademico die Lincei, Prof. für Kunstgeschichte, FU Berlin. Korrespondierendes Mitglied der Klasse für Geisteswissenschaften seit 1983
- 22.06.2016 Thieme, Hans-Werner, Dr. jur., Prof. em. für Verwaltungs-lehre der Universität Hamburg. Ordentliches Mitglied der Klasse für Geisteswissenschaften seit 1984. Vorsitzender der BWG-Kommission Recht und Technik
- 10.09.2016 Matthies, Hans Jürgen, Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h., Prof. em. für Land-Maschinen der TU Braunschweig. Ordentliches Mitglied der Klasse für Ingenieurwissenschaften seit 1974

## Nachrufe

HERMANN KÄRNER

\* 03. November 1932 † 19. Februar 2016

Die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft trauert um ihr korrespondierendes Mitglied der Klasse für Ingenieurwissenschaften Prof. em. Dr.-Ing. Dr. h. c. Hermann Kärner. Professor Hermann Kärner war ein Pionier der modernen Verbundisolatoren für die Hochspannungsübertragung. Er wurde 1932 in Hohenburg/Eger (Oberfranken) geboren und studierte an der damaligen Technischen Hochschule (TH) in München Elektrotechnik. Nach dem Studium arbeitete er dort als Assistent von Prof. Prinz und hatte in dieser Zeit neben seinen Aufgaben in Lehre und Forschung wesentlichen Anteil an Planung und Errichtung des neuen Hochspannungsinstituts. 1967 wurde er mit einer Arbeit über die Erzeugung steilster Stoßspannungen zum Dr.-Ing. promoviert. Es schloss sich eine sehr fruchtbare Industrietätigkeit bei der Rosenthal Technik AG in Selb als Direktor der Werksgruppe Isolatoren an. Hier widmete er sich der Entwicklung neuer Werkstoffe für Hochspannungs-Freiluftisolierungen.

1977 wurde Hermann Kärner als Universitätsprofessor an die TU Braunschweig berufen. Als Leiter des „Instituts für Hochspannungstechnik“ hat Prof. Dr.-Ing. Kärner die Entwicklung polymerer und faserverstärkter Werkstoffe für Hochspannungs-Freiluftisolierungen weiter mit großem Erfolg vorangetrieben. Die internationale Fachwelt verdankt ihm wegweisende Forschungsergebnisse zu Hochspannungsisoliersystemen im Verbund internationaler Arbeitskreise von CIGRE und IEC. Besonders wichtig waren ihm aber auch die Fragen zur Energie- und Rohstoffsituation der Welt und zur Verantwortung des Ingenieurs in der Gesellschaft. In Anerkennung seiner Verdienste wurde ihm 1996 von der Chalmers University of Technology in Göteborg/Schweden die Ehrendoktorwürde verliehen.

Der steigenden Bedeutung der Elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) als Systemwissenschaft folgend, ermöglichte er 1996 durch die Wiedervereinigung des Instituts zum heutigen „Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlagen“ die Neugründung eines Instituts für EMV. Nach seiner Emeritierung 1998 verlegte er seinen Wohnsitz wieder zurück nach Bayern, blieb jedoch weiterhin seinem Institut eng verbunden.

Hermann Kärner wurde 1995 als korrespondierendes Mitglied in die BWG berufen. Wir werden sein Andenken stets in Ehren halten.

Institutsvorstand: Prof. Dr.-Ing. Michael Kurrat & Prof. Dr.-Ing. Bernd Engel

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Dieter Kind

Prof. Dr.-Ing. Manfred Lindmayer

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Salge

### CHRISTOPH SCHWINK

\* 20. März 1928 † 25. Februar 2016

Christof Schwink wurde am 20. März 1928 in München geboren. Er studierte an der Ludwig-Maximilians-Universität in München (1947–1952) und schloss mit dem Diplom in Physik ab. 1955 promovierte er dort bei Prof. Walter Rollwagen über die Elektronenoptische Schattenmethode. Am gleichen Institut baute er anschließend ein Forschungsprogramm über Magnetismus auf, das sich insbesondere mit magnetischen Domänen und den magnetischen Streufeldern an Domängengrenzen befasste, die mit großer Auflösung durch die von ihm entwickelte Methode gemessen werden konnten.

Seine Interessen erweiterten sich auf den Einfluss von Kristallfehlern auf magnetische Eigenschaften. Dies umfasste Studien zur plastischen Verformung, dem zweiten wesentlichen Bereich seiner wissenschaftlichen Arbeiten. Forschungsaufenthalte in Harwell, England und am Max Planck Institut für Metallforschung in Stuttgart gaben wichtige Anstöße für seine weitere Tätigkeit, woraus die Habilitation (1962) hervorging. 1966 erhielt er den Ruf auf den Lehrstuhl für Physik an der damaligen TH Braunschweig als Nachfolger von Prof. G. Cario.

In den folgenden Jahren baute Christoph Schwink einen festkörperphysikalischen Bereich mit neuen Schwerpunkten in Magnetismus und Kristallplastizität auf. Er förderte die Einführung moderner nuklearer Methoden, wie Kernmagnetische Resonanz, Mössbauerspektroskopie, Neutronenstreuung und später Myonenspinrotation und Relaxation zur Untersuchung magnetischer Mikrostrukturen. Beim Studium der Kristallplastizität betonte er unkonventionelle Methoden kombiniert mit Standardexperimenten, wie Deformationskalorimetrie, Gleitlinienkinematographie und Transmissionselektronenmikroskopie.

Seine Forschungsarbeiten zur Kristallplastizität haben viele fruchtbare Kooperationen innerhalb der TU Braunschweig mit Kollegen der Ingenieurwissenschaften angestoßen, v.a. im Rahmen des Sonderforschungsbereichs Stoffgesetze für das inelastische Verhalten metallischer Werkstoffe – Entwicklung und technische

Anwendung. Als Sprecher eines BMFT Verbundforschungsprogramms zur Nuklearen Festkörperforschung hat er u.a. maßgeblich die Weiterentwicklung der Myonenspektroskopie am damaligen Schweizerischen Institut für Nuklearphysik (dem heutigen Paul Scherrer Institut) unterstützt, wovon heute weltweit aktive Forschergruppen (auch in Braunschweig) profitieren können. Seine methodischen und theoretischen Ansätze zum Studium von Magnetmaterialien mit exotischen Ordnungszuständen über Myonenspinrotation gaben wesentliche Anstöße für eine breitere Nutzung dieser Spektroskopie und haben bis heute nicht an Bedeutung verloren.

Auch als Emeritus (seit 1993) blieb er für mehrere Jahre in der Forschung aktiv. Der von ihm an der TU Braunschweig eingebrachte Schwerpunkt Magnetismus wird heute noch weiterverfolgt.

Die Arbeiten von Christoph Schwink sind in mehr als 125 referierten, internationalen Zeitschriften- und Buchbeiträgen dokumentiert, alle mit außerordentlicher Sorgfalt und Wissenschaftlichkeit geschrieben, mit Vorzug von Qualität gegenüber von Quantität.

Christoph Schwink war Mitglied der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, korrespondierendes Mitglied der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen und seit 1983 Mitglied der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft. Die Deutsche Gesellschaft für Materialkunde, in der er als effizienter Mediator zwischen Metallphysik und Materialwissenschaften tätig war, hat ihn für dieses Engagement 2002 mit der Ehrenmitgliedschaft geehrt.

Viele Kollegen aus aller Welt und auch die Mitglieder der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft haben aus Diskussionen mit ihm profitiert. Dabei sind insbesondere seine unabhängige Denkweise und seine klare und stets faire Kritik hervorzuheben. Seine bescheidene, oft zurückhaltende Art konnte allerdings weichen, wenn das Interesse der wissenschaftlichen Wahrheit in akademischer Verpflichtung eine klare und immer wohl begründete Stellungnahme erforderte – ein Wissenschaftler par excellence. Außerhalb des engeren Wissenschaftsbetriebs haben wir Christoph Schwink als feinsinnigen und umfassend gebildeten Kollegen geschätzt, der sich für Musik, Literatur, Theater und Kunst in allen Facetten interessierte und diese genoss.

Am 25. Februar 2016 ist Prof. Dr. Christoph Schwink wenige Monate nach seiner Rückkehr in seine bayrische Heimat in Deisenhofen bei München verstorben. Die Wissenschaft hat einen herausragenden Forscher, engagierten Lehrer und wunderbaren Menschen verloren. Die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft wird ihm ein ehrendes Gedenken bewahren.

Jochen Litterst

## OTTO GERHARD OEXLE

\* 28. August 1939 † 16. Mai 2016

Otto Gerhard Oexle wurde am 28. August 1939 im südwestdeutschen Singen am Hohentwiel geboren. Nach dem Abitur bezog er die Universitäten in Freiburg/Breisgau, Köln und Poitiers zum Studium der Geschichte und der Romanistik. In Freiburg begegnete er mit Karl Schmid einem Lehrer, der seinen weiteren Lebensweg prägen sollte. Schmid's Interessen galten – gemeinsam mit dem ebenfalls in Freiburg lehrenden Gerd Tellenbach – der Erforschung von mittelalterlichen Personengemeinschaften. In diesem Themenkreis wurde Oexle heimisch, wurde zunächst 1965 mit einer Arbeit über die karolingische Geschichte der Metzzer Kirche promoviert und habilitierte sich 1973, nun schon in Münster, mit einer Arbeit zur Sozialgeschichte geistlicher Gemeinschaften im Westfrankenreich, dem heutigen Frankreich. Von 1980 bis 1987 war er Professor für mittelalterliche Geschichte in Hannover. In dieser Zeit wurde er 1985 zum ordentlichen Mitglied der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gewählt; 1990 wurde die Mitgliedschaft in eine korrespondierende verwandelt. 1987 trat Oexle die Nachfolge des Preisträgers der Gauß-Medaille Josef Fleckenstein an und wurde zum Direktor der Abteilung Mittelalterforschung des Max-Planck-Instituts für Geschichte in Göttingen ernannt. Diese Funktion nahm er bis zu seiner Emeritierung im Jahre 2004 war.

Oexle wurde mehrfach zum Ehrendoktor ernannt, zunächst und vor allem von der Universität Paris I Panthéon-Sorbonne. Er war Mitglied zahlreicher gelehrter Gesellschaften, unter anderem des in der Mittelalterforschung führenden Konstanzer Arbeitskreises für mittelalterliche Geschichte (1989), der Göttinger Akademie der Wissenschaften (1990), der Royal Historical Society in London (1996), der Historischen Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften (1998) sowie der Zentralkommission der Monumenta Germaniae Historica (1999), in der er gemeinsam mit dem Gauß-Medaillen-Träger Johannes Fried wirkte.

Oexles Werk gruppiert sich um drei große Themenkomplexe: Zunächst legte er den Grund in der Sozialgeschichte mittelalterlicher Personengruppen. Er erforschte vor allem die Formen der Zusammengehörigkeit der monastischen Gemeinschaften im frühen und hohen Mittelalter, in Metz – wie in seiner Dissertation – und später im bedeutenden Reichskloster Fulda, an dessen personengeschichtlicher Erforschung er in den 1970-er Jahren führend beteiligt war. Über das Mönchtum hinaus, dem er – der eher Aufsätze als dickleibige Bücher zu schreiben willens war – einige ebenso glänzende wie perspektivenreiche Studien widmete, galt sein Interesse den Gilden, jenen freiwilligen und gewissermaßen zweckbestimmten Gemeinschaften von Händlern und Handwerkern des frühen und hohen Mittel-



alters, in deren Zusammengehörigkeit er eines der wesentlichen Bindemittel der nicht-adligen Bevölkerung jener Jahrhunderte entdeckte.

Ein zweites Forschungsfeld in der mittelalterlichen Sozialgeschichte war die Erforschung der mittelalterlichen Ständegesellschaft. Wiederum in programmatischen Aufsätzen legte er dar, wie die Vorstellung von einer Dreiteilung der Gesellschaft in *oratores*, *bellatores* und *laboratores*, in betende Geistliche, kriegführende Adlige und all die Arbeitenden um das Jahr 1000 in Westfranken begründet und von dort aus rasch im christlich-abendländischen Europa verbreitet wurde. Damit fand er einen Schlüssel zum Verständnis einer Gesellschaftsauffassung, die bis in die Zeiten der Französischen Revolution und den damals zugespitzten Forderungen nach politischer Mitsprache auch des Vierten Standes Geltung behaupten sollte.

Ein drittes sozialgeschichtliches Forschungsinteresse galt der Armut. Hier galten seine Arbeiten so unterschiedlichen Bereichen wie der Armenfürsorge als einer Pflicht mittelalterlicher Christenmenschen und den politischen Implikationen der Armut. Nicht er entdeckte die Tatsache, dass Armut im Mittelalter gleichzeitig als politische Machtlosigkeit angesehen wurde, wohl aber er war es, der die Gegenüberstellung des *pauper*, des Armen, mit dem Mächtigen, dem *potens*, nicht dem Reichen als eine weitere Grundlage des mittelalterlichen Gesellschaftsverständnisses namhaft machte.

Schon aus den Zeiten des Studiums war Oexle ein international orientierter Forscher. Das war für viele Geisteswissenschaften der 1960-er und 1970-er Jahre noch mehr Anspruch als Wirklichkeit. Ihm aber kam seine perfekte Mehrsprachigkeit zustatten, ein außerordentlich gewinnendes Wesen, gleichzeitig aber auch der untrügliche Blick für Qualität und das Beharren darauf. Das brachte ihn, nicht erst in seiner Max-Planck-Zeit, in vielfältige internationale Bezüge. Vor allem mit den Protagonisten der französischen Sozialgeschichtsforschung, aber auch mit den stark von dorthier geprägten Mediävisten Rußlands und der übrigen Nachfolgestaaten der UdSSR stand er in engem Kontakt und veranstaltete gemeinsame Konferenzen, die mitverantwortlich wurden dafür, dass viele der dortigen Mediävisten Anschluss an die westeuropäische Kollegenschaft fanden. Oexle sorgte, wo nötig, für Übersetzungen von Fachliteratur aus den slawischen Sprachen oder für Kontakte auf Reisen.

Seit den 1990-er Jahren erschloss er sich ein letztes, bedeutendes Forschungsfeld: die Erforschung der Wissenschaftsgeschichte. Besonders die Bedeutung des Historismus des ausgehenden 19. und beginnenden 20. Jahrhunderts hatte es ihm angetan. Dort, bei Otto von Guericke, Georg von Below, auch bei Max Weber und Otto Brunner, sah er die Problemgeschichte der Moderne vorgezeichnet. Ihrem Werk widmete er sich in eindringlichen Studien von hoher Präzision. Dass jemand wie Oexle schließlich 1998 auf dem legendär gewordenen Frankfurter Historikertag eine Sektion zur Rolle deutscher Historiker im Nationalsozialismus veranstaltete, war so gesehen gewissermaßen folgerichtig. Freilich war er es

auch, der davor warnte, in den Werken der Zeitgenossen des sog. Dritten Reiches nur auf die Suche nach verfänglichen Zitaten zu gehen, um sie der Gefolgschaft gegenüber dem Nationalsozialismus zu überführen. Auch hier ging es ihm um eine Problemgeschichte: um die Frage, wie sich das streckenweise ausgesprochen bereitwillige Mittun von Historikern im Sinne der NS-Ideologie erklären lasse und welche ideologischen Folgen es für die Geschichtswissenschaft nach 1945 denn besitze.

Mit Otto Gerhard Oexle verliert die Fachwelt einen ebenso inspirierenden wie Maßstäbe setzenden Forscher, der die deutsche Mittelalterforschung vorangebracht hat, der vor allem aber dafür sorgte, dass die Geschichte der deutschen Geschichtswissenschaft der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts uns allen klarer vor Augen steht.

Thomas Vogtherr

### WERNER THIEME<sup>1</sup>

\* 13. Oktober 1923 † 16. Juni 2016

Am 16. Juni 2016 ist Werner Thieme im Alter von 92 Jahren in Celle verstorben. Er war ordentliches Mitglied der BWG seit 1984. Als Jurist gehörte er der Geisteswissenschaftlichen Klasse an.

Werner Thieme wurde am 13. Oktober 1923 in Celle geboren und blieb seiner Heimatstadt, auch beruflich, bis zu seinem Tode eng verbunden. Nach dem Abitur am Gymnasium Ernestinum im Jahre 1942 wurde er zur Wehrmacht eingezogen und kehrte 1945 nach zweimaliger Verwundung aus dem Kriege zurück. Noch im selben Jahre nahm er das Studium der Rechts- und Staatswissenschaften in Göttingen auf. Es folgten die beiden juristischen Staatsprüfungen am OLG Celle, das Referendarexamen 1948, das Assessorexamen 1952. Bereits 1951 war Thieme bei dem Göttinger Staatsrechtler Werner Weber mit einer Arbeit über „Die Rechtsstellung des Ausländers nach dem Grundgesetz“ promoviert worden. Es war eine Pionierarbeit zu einem in jener Zeit politisch sensiblen Thema, als Deutschland von seiner staatlichen Souveränität noch weit entfernt war.

Werner Thieme verband in seiner Karriere von Anfang an in glücklicher Weise die Neigung zur Rechtswissenschaft mit einem ausgeprägten Interesse an der

---

<sup>1</sup> Der Nachruf wurde am 16. Dezember 2016 vor der Plenarsitzung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft in Braunschweig vorgetragen.

juristischen Praxis, an Recht und Verwaltung im Alltag. So folgte er dem Angebot des Hamburger Zivilrechtlers Wilhelm Felgentraeger, der 1950 Vorsitzender des Deutschen Hochschulverbandes geworden war, die Geschäftsführung des Verbandes zu übernehmen. Thiemes dort laufend gemachten Erfahrungen bildeten die Grundlage seiner Habilitation bei Felgentraegers Hamburger Fakultätskollegen, dem Staats- und Europarechtler Hans Peter Ipsen. Die Habilitationsschrift mit dem lapidaren Titel „Das deutsche Hochschulrecht“, die 1956 im renommierten Kölner Carl Heymanns Verlag erschien, war ein Klassiker in ihrem Genre, denn sie war die erste umfassende wissenschaftliche, systematische Darstellung des deutschen Hochschulrechts überhaupt. Zwar waren und sind die Hochschulen und ihr Recht, wie wir alle wissen, ein uralter Gegenstand, aber Thiemes Arbeit leistete einen ganz wesentlichen Beitrag dazu, dass sich das Hochschulrecht nun zu einem relativ eigenständigen Zweig des Besonderen Verwaltungsrechts entwickelte.

Die Beschäftigung mit dem Hochschulrecht zieht sich wie ein Roter Faden durch Werner Thiemes Schaffen als Hochschullehrer, als Gutachter, als Praktiker und als Rechtspolitiker. Seine Habilitationsschrift, die 2004 in der dritten Auflage erschien und auf über 800 Seiten answoll, war alsbald zum Standardwerk geworden. Sie spiegelt die dramatischen Veränderungen des Hochschulwesens und die Ausuferung des Hochschulrechts in dem verflossenen halben Jahrhundert wider, die rasante Entwicklung von 32 Hochschulen zur Mitte der 1950er Jahre auf ca. 400 Hochschulen nach der Jahrtausendwende im wiedervereinigten Deutschland, von ca. 250.000 Studierenden (1956) auf ca. 2,4 Mio. im gleichen Zeitraum. Werner Thieme hat diesen revolutionären Wandel, das Auf und Ab der hochschulpolitischen Moden, der sinnvollen Reformen und der zweifelhaften Experimente mit Nüchternheit und Realitätssinn begleitet und kommentiert, durchaus aber auch bedenkliche Erscheinungen und Fehlentwicklungen nach den Maßstäben des Grundgesetzes und seiner persönlichen liberalen und konservativen Überzeugungen kritisiert.

Ein weiterer Schwerpunkt im Schaffen Werner Thiemes war fast von Anfang an die Verwaltungslehre, international als Public Administration bekannt, also die praktische, operative Seite der Verwaltungswissenschaften, wo Verwaltungsarbeit und Verwaltungsrecht miteinander verschmolzen sind, der Hauptakzent aber auf den Methoden und Erfahrungen einer guten Verwaltung im demokratischen Rechtsstaat liegt. Werner Thieme gehört zu den Pionieren einer modernen Verwaltungslehre im heutigen Deutschland. Als er 1962 von Saarbrücken, wo er 1956 im soeben in die Bundesrepublik eingegliederten Saarland eine Professur angetreten hatte, nach Hamburg wechselte, erhielt er bei den Berufungsverhandlungen die Zusage zur Einrichtung eines Seminars für Verwaltungslehre. Werner Thieme hat dieses Seminar 30 Jahre geleitet und das Fachgebiet prominent in der Vereinigung der deutschen Staatsrechtslehrer repräsentiert. Sein Lehrbuch „Verwaltungslehre“, das 1984 in der 3. Auflage erschien, gehört noch immer zu den Standardwerken dieses Fachgebiets.

Werner Thiemes *venia legendi* umfasste Staatsrecht, Verwaltungsrecht und Kirchenrecht, und in der vollen Breite seiner *venia* hat er auch geforscht und publiziert. Zahlreiche Abhandlungen und Aufsätze sind Grundfragen des Allgemeinen Verwaltungsrechts gewidmet, bevorzugte Gegenstände waren Öffentlicher Dienst und Beamtenrecht, Kommunalrecht und Gebietsreform, Umweltrecht, Gewerbe- und Sozialrecht. Immer wieder hat Werner Thieme aber auch verfassungs- und staatsrechtliche Grundsatzfragen aufgegriffen und sich, auch jenseits des Hochschulwesens, zu mehr oder weniger heftig umstrittenen rechtspolitischen Themen geäußert.

Werner Thieme verband in seinem Schaffen nicht nur Rechtswissenschaft mit Rechtspraxis und Rechtspolitik, sondern er liebte und suchte auch den interdisziplinären Dialog. In der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft hat er den Dialog vor allem mit den Kollegen der ingenieurwissenschaftlichen Klasse geführt. Davon zeugt bereits das Thema des Vortrages, mit dem er sich als Mitglied in die BWG eingeführt hat: „Rechtstechnik des Rechts der Technik“ – pfiffig formuliert, aber gleichwohl juristisch präzise! (Jahrbuch der BWG 1987/88, S. 67–79). Um den Dialog zwischen Juristen und Ingenieuren in der BWG zu vertiefen, wurde 1996 unter der Präsidentschaft von Norbert Kamp, des Vorgängers von Präsident Klein, die „Kommission Recht und Technik“ gebildet. Werner Thieme hat sie zusammen mit dem BWG-Kollegen Joachim Scheer vom Institut für Statik und Stahlbau geleitet. Zwei Colloquien hat die Kommission abgehalten: 1996 in Braunschweig über „Begriff und Funktionen von Normen in der Ingenieurwissenschaft und im Recht“, wo Thieme über die Entstehung und Verbindlichkeit technischer Rechtsnormen sprach, Prof. Hans Siebke, Bad Homburg, über technische Normung. Ein weiteres Thema waren „Die allgemein anerkannten Regeln der Technik“, über die aus der Sicht des Ingenieurs der damalige Präsident des Deutschen Instituts für Normung, Dipl. Ing. Gottfried Kremer (Berlin), referierte und aus der Sicht des Juristen der Richter am OLG Celle, Dr. Thomas Knoke.

Das zweite Colloquium, das im Juni 1999 in Hannover stattfand, war dem Problem gewidmet, wie einerseits Juristen, andererseits Naturwissenschaftler und Ingenieure mit den Phänomenen und Begriffen „Risiko“ und „Gefahr“ umgehen. Franz-Joseph Peine, Göttinger Staats- und Verwaltungsrechtler und BWG-Mitglied, referierte über Gefahr, Risiko und Restrisiko, Hans-Peter Ekart, Kassel, über Risiko aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht.

Spätestens seit den 1960er Jahren sind die Probleme des Rechts der Technik zu wichtigen Gegenständen des Verwaltungs- und partiell auch des Verfassungsrechts geworden. Es ging und geht um die Frage, wie die Rechtsordnung, wie Gesetzgeber, Verwaltung und Gerichte mit den sich beschleunigt verändernden „Ständen der Technik“ und mit den daraus resultierenden Gefahren Schritt halten können, - im Atomrecht und Umweltrecht, im Baurecht und Planungsrecht, im Verkehrsrecht, Gesundheitsrecht, Agrarrecht, Lebensmittelrecht, kurz: in den

meisten Disziplinen des Besonderen Verwaltungsrechts. Mit den Problemen, die uns inzwischen die digitale Revolution des Informationswesens kraft ihrer Auswirkungen auf Wirtschaft, Gesellschaft und nicht zuletzt auch auf die Verwaltung beschert, stehen wir heute aufgrund der Dynamik des „Standes der Technik“ vor ganz neuen Gefahren. Werner Thieme hat sich mit den darin liegenden Herausforderungen, vor welche naturgemäß auch und gerade die Verwaltungslehre gestellt ist, nicht mehr auseinandersetzen können. Sie zu bewältigen, ist nun Sache seiner „Enkelschüler“.

Ich möchte mit ein paar persönlichen Bemerkungen schließen. Als ich 1990 von Köln nach Hamburg kam, habe ich Werner Thieme noch persönlich kennengelernt. Zwar war er schon 1988 emeritiert worden, aber Thieme blieb auch darüber hinaus noch Jahre in der Fakultät präsent. Ein Begriff war er mir als Staatsrechtskollege natürlich längst, sein Name war mir aber auch vertraut, weil uns die Heimat Celle und Familiäres verband. Denn ich bin ebenfalls in Celle geboren und einen Straßenzug von Thiemes Haus entfernt aufgewachsen. Werner Thiemes Vater und mein Großvater waren Richter-Kollegen am OLG Celle, und zwischen unseren Familien gab es freundschaftliche Kontakte; wir besuchten dieselben Schulen. Werner Thieme habe ich als ein nüchternes Naturell und als einen formvollendeten Juristen erlebt, aber er war alles andere als steif oder gar dröge, vielmehr ein lebhafter Geist, aufgeschlossen, allen Gesprächspartnern gegenüber, Kollegen ebenso wie Studierenden, freundlich und interessiert zugewandt, ein geistreicher Gastgeber, begabt mit trockenem Humor und Witz. Als solche Persönlichkeit wird er gewiss nicht nur mir in guter Erinnerung bleiben.

Otto Luchterhandt

## HANS JÜRGEN MATTHIES

\* 06. November 1921 † 10. September 2016

Prof. em. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Hans Jürgen Matthies wurde am 6. November 1921 in Teterow, Mecklenburg geboren und studierte bis 1950 in Berlin und Stuttgart Maschinenbau mit dem Schwerpunkt Landtechnik. Nach dem Diplom nahm er eine Assistentenstelle bei Prof. Georg Segler am Braunschweiger Institut für Landmaschinen an und promovierte 1954 mit der Arbeit „Der Strömungswiderstand beim Belüften landwirtschaftlicher Erntegüter“. Danach wechselte er zur Landmaschinenfabrik Gebrüder Welger in Wolfenbüttel. Dort befasste er sich intensiv mit der Halmgutverdichtung, einer Voraussetzung für die Entwicklung der Compactrollenpresse, an der er maßgeblich beteiligt war. Sehr früh schon wurde er zum Chefkonstrukteur ernannt.

1958 erhielt er den Ruf auf den ordentlichen Lehrstuhl für Landmaschinen an der Technischen Hochschule Braunschweig, den er bis zu seiner Emeritierung 1990 inne hatte. Für seine Forschungsarbeiten, aber auch für die Aufnahme des neuen Lehr- und Forschungsgebietes der Ölhydraulik in mobilen Maschinen, wurde ihm internationale Anerkennung zu teil. Er war erster Herausgeber des Jahrbuches „Agrartechnik“ und leitete von 1983 bis 1988 die VDI- Fachgruppe Landtechnik. Die Verleihung des VDI-Ehrenzeichens und der Tilo-Freiherr-von-Willmowsky-Medaille sowie der Ehrendoktorwürde der Technischen Universität München, sind Zeichen der Wertschätzung seiner Fachkollegen. Er war eine prägende Persönlichkeit der Landtechnik und wurde 1974 als ordentliches Mitglied in die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft berufen.

Neben seiner wissenschaftlichen Tätigkeit übernahm er auch an unserer Universität wesentliche Ämter in der Selbstverwaltung. 1978 wurde er zum letzten Rektor gewählt, weil in seiner Amtszeit die Präsidialverfassung eingeführt und er damit in seinem zweiten Amtsjahr der erste Präsident der Universität wurde. Hier machte er sich insbesondere verdient um die Eingliederung der Pädagogischen Hochschule in die Technische Universität Braunschweig.

Hans Jürgen Matthies verstarb am 10. September 2016 im Alter von 94 Jahren in Braunschweig.

Matthias Bohnet

## Zuwahlen

**Zum ordentlichen Mitglied wurde am 08.04.2016 gewählt:**

*in die Klasse für Ingenieurwissenschaften*

**Wallaschek, Jörg, Prof. Dr.-Ing.**

Leiter des Instituts für Dynamik und Schwingungen, Leibniz Universität Hannover

**Zu ordentlichen Mitgliedern wurden am 16.12.2016 gewählt:**

*in die Klasse für Mathematik und Naturwissenschaften*

**Dix, Jürgen, Dipl.-Math. Prof. Dr. rer. nat.**

Leiter des Instituts für Informatik, TU Clausthal

**Kruse, Rudolf, Prof. Dr. rer. nat.**

Fakultät für Informatik, Lehrstuhl Computational Intelligence, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg; Wohnort: Braunschweig

*in die Klasse für Ingenieurwissenschaften*

**Blume, Holger, Prof. Dr.-Ing. habil.**

Geschäftsführender Leiter - Architectures and Systems, Institute of Microelectronic Systems, Architectures and Systems Group, Leibniz Universität Hannover

**de Lorenzis, Laura, Prof. Dr.-Ing.**

Leiterin des Instituts für Angewandte Mechanik, TU Braunschweig

**Zu korrespondierenden Mitgliedern wurden am 16.12.16 gewählt:**

*in der Klasse für Ingenieurwissenschaften*

**Rummel, Reiner, Prof. i. R. Dr.-Ing. Dr. h. c. mult.**

Carl von Linde Senior Fellow of the Institute of Advanced Study (IAS), TU München; Gaußpreisträger 2016

*in die Klasse für Geisteswissenschaften*

**Scharff, Thomas, Prof. Dr. phil.**

Institut für Geschichtswissenschaft, Abtlg. Alte und Mittelalterliche Geschichte, TU Braunschweig

## Inhaber der Carl-Friedrich-Gauß-Medaille 1949-2016

- 1949 *Walter Reppe* †, Dr. phil., Dr. phil. nat. h. c., Dr.-Ing. E.h., Honorarprofessor der Universität Mainz und der Technischen Hochschule Darmstadt.
- 1950 *Arvid Hedvall* †, fil. dr., Dr. phil. h. c., Dr.-Eng. h. c., Dr. Techn. h. c., em. o. Professor für Silikatchemie der Technischen Hochschule Göteborg/Schweden.
- 1951 *Wilhelm Nusselt* †, Dr.-Ing. E. h., em. o. Professor für Theoretische Maschinenlehre an der Technischen Hochschule München.
- 1952 *Erwin W. Müller* †, Dr.-Ing. habil., Dr. rer. nat. h. c., Dr. h. c., Evan-Pugh Res., Professor an der Pennsylvania State University, University Park, Penn./USA.
- 1953 *Gustav Wolf* †, Dr.-Ing. E. h., Professor in Münster.
- 1954 *Max Strutt* †, Dr. techn., Dr.-Ing. E. h., o. Professor für Höhere Elektrotechnik an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich/Schweiz.
- 1955 *Fritz Arndt* †, Dr. phil., Dr. rer. nat. h. c., Dr. h. c., em. o. Professor für Organische Chemie an der Universität Breslau, Honorarprofessor an der Universität Hamburg.
- 1955 *Pascual Jordan* †, Dr. phil., em. o. Professor für Theoretische Physik an der Universität Hamburg.
- 1956 *Ulrich Finsterwalder* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., München.
- 1957 *Georg Sachs* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., o. Professor für Metallurgie an der Syracuse University, Syracuse, N.Y./USA.
- 1958 *Werner Schmeidler* †, Dr. phil., Dr.-Ing. E. h., em. o. Professor für Mathematik an der Technischen Universität Berlin.
- 1959 *Hans Brockmann* †, Dr. sc. nat. habil., Dr. rer. nat. h. c., em. o. Professor für Organische Chemie an der Universität Göttingen.
- 1960 *Theodor von Karman* †, Dr. phil., Dr.-Ing. E. h., Dr. rer. nat. h. c. mult., LL. D., Professor am California Institute of Technology, Pasadena, Calif./USA.
- 1961 *Kurt Paul Klöppel* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., o. Professor für Statik und Stahlbau an der Technischen Hochschule Darmstadt.



- 1962 *Walter Schottky* †, Dr. phil., Dr.-Ing. E. h., Dr. rer. nat. h. c., Dr. techn. h. c., em. o. Professor für Theoretische Physik an der Universität Erlangen.
- 1963 *Gottfried Köthe* †, Dr. phil., Dr. h. c., Dr. rer. nat. h. c. mult., em. o. Professor für Angewandte Mathematik an der Universität Heidelberg.
- 1964 *Carl Wagner* †, Dr. phil., Dr. rer. nat. h. c., Dr.-Ing. E. h., Professor und vormals Direktor des Max-Planck-Instituts für Physikalische Chemie in Göttingen.
- 1965 *Albert Betz* †, Dr. phil., Dr.-Ing. E. h., Dr. sc. techn. h. c., Professor und vormals Direktor der Aerodynamischen Versuchsanstalt und des Max-Planck-Instituts für Strömungsforschung in Göttingen.
- 1966 *Wilhelm Becker* †, Dr. phil., Dr. h. c., em. o. Professor und Direktor der Astronomisch-Meteorologischen Anstalt der Universität Basel/Schweiz.
- 1967 *Henry Görtler* †, Dr. phil. habil., LL. D. h. c., em. o. Professor für Mathematik und vormals Direktor des Instituts für Angewandte Mathematik der Universität Freiburg i. Br..
- 1968 *Egon Orowan* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., o. Professor für Mechanical Engineering am Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass./USA.
- 1969 *E. Arne Bjerhammar* †, tekn. dr., Professor für Geodäsie an der Kungl. Tekniska Högskolan in Stockholm/Schweden.
- 1970 *Elie Carafoli* †, Dr. rer. nat., Professor für Aero-Gas-Dynamik am Polytechnischen Institut Bukarest und vormals Direktor des Institut de Mécanique des Fluides "Traian Vuia" in Bukarest/Rumänien.
- 1971 *Walter Dieminger* †, Dr. rer. techn., apl. Professor für Geophysik an der Universität Göttingen und vormals Direktor des Max-Planck-Instituts für Aeronomie in Lindau/Harz.
- 1972 *Hubert Rüsch* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., em. o. Professor für Massivbau an der Technischen Hochschule München und vormals Direktor des Amtlichen Materialprüfungsamtes für das Bauwesen.
- 1973 *Viktor Gutmann* †, Dr. techn., Ph.D., ScD, Dr. rer. nat. h. c., Dr. Sc. h. c., em. o. Professor für Anorganische Chemie an der Technischen Universität Wien/Österreich.
- 1974 *Friedrich Tamms* †, Dr. h. c., Professor, Beigeordneter der Stadt Düsseldorf (Stadtbaurat i.R.), Freischaffender Planer.
- 1975 *Sir Michael James Lighthill* †, FRS, FRAeS, Hon. D. Sc. mult., Professor für Mathematik an der University of Cambridge/Großbritannien.

- 1977 *Walter Maurice Elsasser* †, Dr. phil., o. Professor für Geophysik an der Johns Hopkins University, Baltimor, Maryland/USA.
- 1977 *Helmut Moritz*, Dr. techn., Dr.-Ing. E. h., o. Professor für Geodäsie an der Technischen Universität Graz/Österreich.
- 1977 *László Fejes Tóth* †, Dr., Professor und Direktor des Mathematischen Forschungsinstituts der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Budapest/Ungarn.
- 1978 *Ulrich Grigull* †, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., em. o. Professor für Thermodynamik an der Technischen Universität München.
- 1979 *Wolf Freiherr von Engelhardt* †, Dr. phil., em. o. Professor für Mineralogie und Petrographie an der Universität Tübingen.
- 1980 *Hans Kuhn* †, Dr. phil., Dr. rer. nat. h. c., Professor und vormalig Direktor am Max-Planck-Institut für Biophysikalische Chemie in Göttingen.
- 1981 *Martin Kneser* †, Dr. rer. nat., o. Professor für Mathematik an der Universität Göttingen.
- 1982 *Walter Burkert*, Dr. phil., o. Professor für Klassische Philologie an der Universität Zürich/Schweiz.
- 1983 *Leopold Müller* †, Dr. techn., Dr. mont. h. c., Honorarprofessor für Felsmechanik an der Universität Salzburg/Österreich.
- 1984 *Heinz Beneking* †, Dr. rer. nat., o. Professor und Direktor des Instituts für Halbleitertechnik an der RWTH, Aachen.
- 1985 *Gerhard Ertl*, Dr. rer. nat., Dr. h. c., Professor und Direktor am Fritz-Haber-Institut der Max-Planck-Gesellschaft in Berlin.
- 1986 *Arno Borst* †, Dr. phil., o. Professor für Mittelalterliche Geschichte an der Universität Konstanz.
- 1987 *Olgierd Cecil Zienkiewicz* †, FRS, Ph.D., D.Sc., Hon. D.Sc. mult., Professor of Civil Engineering an der University of Wales/Swansea/Großbritannien.
- 1988 *Heinz Brauer* †, Dr.-Ing., Professor für Chemische Ingenieurtechnik an der Technischen Universität Berlin.
- 1989 *Herbert Walther*, Dr. rer. nat., Professor für Experimentalphysik an der Universität München und Direktor des Max-Planck-Instituts für Quantenoptik in Garching.
- 1990 *Raymond Klibansky* †, Dr. phil., Dr. phil. h. c., Professor der Philosophie (Logik und Metaphysik) an der McGill University in Montreal/Kanada und Fellow des Wolfson College Oxford.

- 1991 *Wilfried B. Krätzig*, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., Professor für Ingenieurmechanik an der Ruhr-Universität Bochum.
- 1992 *Ernst-Dieter Gilles*, Dr.-Ing., Professor für Meß- und Regelungstechnik an der Universität Stuttgart.
- 1993 *Hans-Heinrich Voigt*, Dr. rer. nat., em. o. Professor für Astronomie und Astrophysik an der Universität Göttingen.
- 1994 *Josef Fleckenstein* †, Dr. phil., em. o. Professor für Mittelalterliche Geschichte, zuvor Direktor des Max-Planck-Instituts für Geschichte in Göttingen.
- 1995 *David G. Crighton* †, FRS, Head of Department of Applied Mathematics and Theoretical Physics, University of Cambridge/Großbritannien.
- 1996 *Gerhard Frey*, Dr. rer. nat., Dr. h. c., Professor für Mathematik an der Universität Essen.
- 1997 *Arnold Esch*, Dr. phil., Professor für Mittelalterliche Geschichte, Direktor des Deutschen Historischen Instituts in Rom/Italien.
- 1998 *Christian Menn*, Dr.-Ing., Dr.-Ing. E. h., em. Professor für Konstruktiven Ingenieurbau an der ETH Zürich/Schweiz.
- 1999 *Christian Wandrey*, Dr. rer. nat., Professor für Biotechnologie, Universität Bonn, Direktor des Instituts für Biotechnologie des Forschungszentrums Jülich.
- 2000 *Klaus J. Hopt*, Dr. jur., Dr. phil., Dr. iur. h. c. mult., Professor für ausländisches und internationales Privatrecht, Universität Hamburg, Direktor des Max-Planck-Instituts für ausländisches und internationales Privatrecht, Hamburg.
- 2001 *Robert Piloty* †, Dr.-Ing., Professor em. für Datentechnik an der Technischen Universität Darmstadt.
- 2002 *Wolfgang Krätschmer*, Dr. rer. nat., Professor für Kern- und Astrophysik am Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg.
- 2003 *Niklot Klüßendorf*, Dr. phil., apl. Professor für Numismatik und Geldgeschichte an der Philipps Universität, Marburg.
- 2004 *Joachim Milberg*, Dr.-Ing. Dr. h. c. mult. Dr.-Ing. E. h. mult., Professor für Maschinenbau und Produktionswissenschaften, München.
- 2005 *Klaus von Klitzing*, Dr. rer. nat. Dr. h. c. mult., Professor für Festkörperphysik, Direktor am Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Stuttgart, Honorarprofessor an der Universität Stuttgart.
- 2006 *Peter Bürger*, Dr. phil. habil., Professor em. für Literaturwissenschaft (Französisch) und Ästhetische Theorie an der Universität Bremen.

- 2007 *Herbert A. Mang*, Dipl.-Ing. Dr. techn. Ph.D. Dr. h. c. mult., Ordentlicher Universitäts-Professor für Elastizitäts- und Festigkeitslehre an der Technischen Universität Wien/Österreich
- 2008 *Rudolf K. Thauer*, Dr. rer. nat. habil. Dr. h. c. mult., Professor für Mikrobiologie, Direktor des Max Planck Instituts für terrestrische Mikrobiologie, Marburg.
- 2009 *Walther Ludwig*, Dr. phil., Professor em. für Klassische Philologie an der Universität Hamburg.
- 2010 *Klaus Streubel*, Dr. rer. nat., LED-Technologie, Leiter Forschung und Technologie der Osram GmbH, Augsburg.
- 2011 *Angela D. Friederici*, Dr. phil. Dr. h. c., Professorin für Neuropsychologie und Direktorin des Max-Planck-Instituts für Kognitions- und Neurowissenschaften, Leipzig.
- 2012 *Werner Oechslin*, Dr. phil. Dr. h. c. mult., Professor em. für Geschichte und Theorie der Architektur an der ETH Zürich, Schweiz.
- 2013 *Wolfgang Schröder*, Dr.-Ing., Professor für Strömungsmechanik an der RWTH Aachen.
- 2014 *Klaus Müllen*, Dr. rer. nat. h. c. mult., Prof. für Organische Chemie, Direktor des Max-Planck-Instituts für Polymerforschung, Mainz.
- 2015 *Johannes Fried*, Dr. Dr. h. c., Prof. em. für Mittelalterliche Geschichte an der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main.
- 2016 *Reiner Rummel*, Dr.-Ing. Dr. h. c. mult., Prof. em. für Geodäsie an der TU München.